MINISTERUL INVĂȚĂMÂNTULUI PUBLIC

ELECTRICITATE
ȘI
ELECTROTEHNICĂ

MANUAL UNIC

PENTRU

UZUL ȘCOLILOR MEDII TEHNICE

PARTEA I-a

EDITURA TEHNICĂ

Scanned with OKEN Scanner

MINISTERUL INVĂȚĂMÂNTULUI PUBLIC

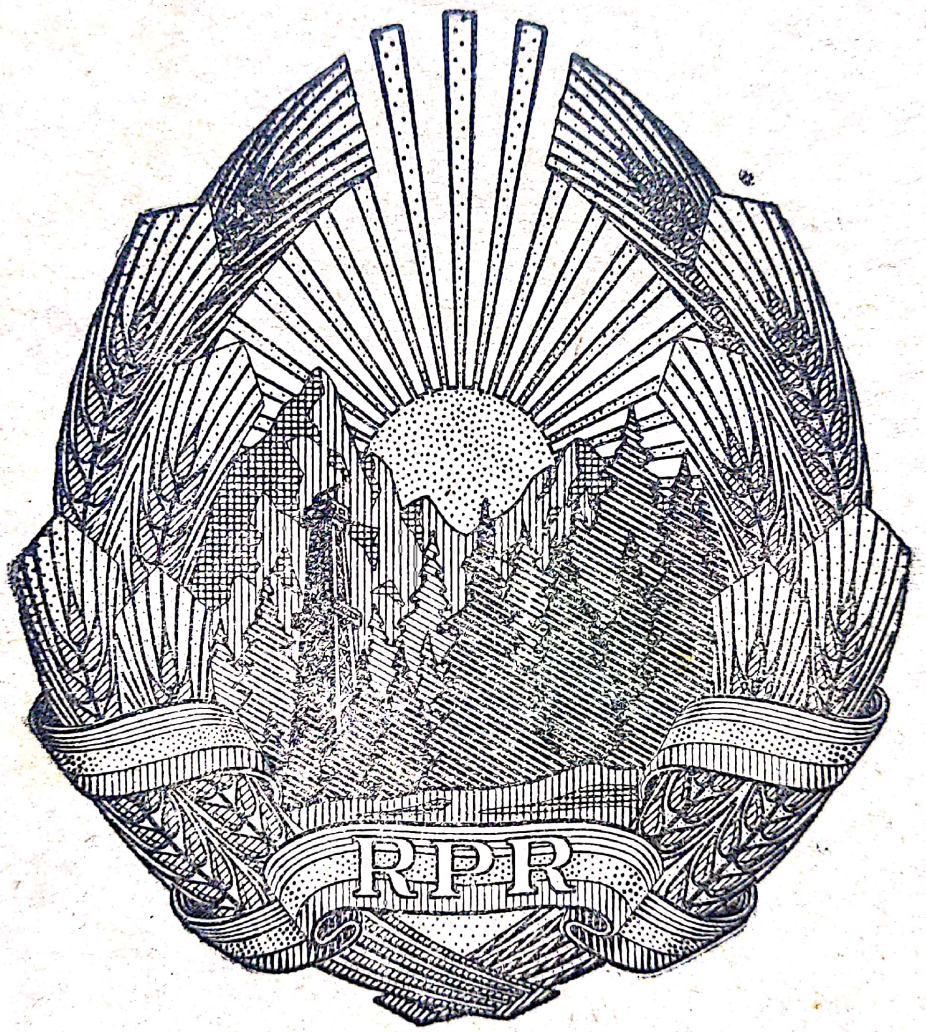
ELECTRICITATE
ȘI
ELECTROTEHNICĂ

MANUAL UNIC
PENTRU
UZUL ȘCOLILOR MEDII TEHNICE

PARTEA I-a

EDITURA TEHNICĂ
1950

Scanned with OKEN Scanner



STEMA REPUBLICII POPULARE ROMANE

Scanned with OKEN Scanner

PARTEA I

INTRODUCERE

BAZELE, IMPORTANȚA ȘI ROLUL ELECTROTEHNICEI

1. Fenomene magnetice și electrice

Electrotehnica este știința care ne învață cum este folosită energia electrică pentru scopuri practice. Electrotehnica este cea mai tânără ramură a tehnicei. Istoria sa începe abia în ultimul sfert al secolului al XIX-lea. Desvoltarea rapidă a industriei în această perioadă cerea rezolvarea unor probleme pe care metodele tehnice vechi nu le puteau cuprinde. Astfel, electrotehnica a rezolvat chestiunea luminatului, a telecomunicațiilor (telefon, radio) a transportului energiei electrice la distanță, a producerii energiei mecanice în cele mai economice condiții, etc.

Desvoltarea rapidă a electrotehnicei a fost posibilă datorită stadiului înaintat la care au ajuns cunoștințele omului asupra fenomenelor electricității. Se știe de mult că unele corpuri, prin frecare, capătă proprietatea de a atrage alte corpuri. Fenomenele acestea de atracție sunt cuprinse în fenomenele care poartă numele de *fenomene electrice*. Cu timpul s'au mai găsit și alte mijloace pentru a se obține fenomene electrice. De asemenea s'a găsit că fenomenele electrice mai au și alte proprietăți decât acelea de atracție. De cea mai mare importanță sunt acele fenomene care se referă la curenții electrici.

Cuvântul „electricitate“ vine dela cuvântul grecesc *electron*, care înseamnă rășină, deoarece rășina a fost primul corp cunoscut care se electrizează prin frecare. Alte corpuri, ca

piatra magnetică, au de asemenea proprietatea de a atrage, însă numai bucăți de fier. Aceste fenomene de atracție poartă numele de *fenomene magnetice*. Numele vine dela piatra magnetică, zisă *magnis* pe grecește, fiindcă această piatră a fost găsită în Grecia, la Magnesia.

Mai târziu, s'a găsit că, între aceste două clase de fenomene, există o strânsă legătură: astfel magneții acționează asupra fenomenelor electrice (de exemplu asupra curenților electrici) și invers, fenomenele electrice acționează asupra magneților. Aceste relații constitue *fenomenele electromagnetice*.

Electricitatea studiază proprietățile fenomenelor electrice și magnetice.

Electrotehnica se ocupă de aplicațiile acestor fenomene științifice în practică.

2. Etape în istoria electricității

Istoria electricității, până în zilele noastre, poate fi împărțită în cinci mari perioade, care corespund cunoștințelor pe care omul le-a câștigat cu vremea, despre electricitate, datorită mijloacelor de producție a tehnicei.

In prima perioadă omul observă electricitatea din natură, dar el nu știe să o producă.

In a doua perioadă el ajunge să creeze electricitatea „statică". El face distincția dintre corpurile conducătoare de electricitate și între izolanți și poate măsura cantitatea de electricitate cu care se încarcă diferitele corpuri.

A treia perioadă aparține electricității „dinamice", care începe cu descoperirea pilei producătoare de electricitate, sub formă de curent electric. Omul își îmbogățește cunoștințele sale. El face diferența între mărimea diferitelor pile, după valoarea forței lor electromotoare, între diferite corpuri conducătoare, după valoarea rezistenței lor electrice și ajunge să poată calcula intensitatea curentului electric.

Studiind curentul electric se ajunge la cunoașterea proprietăților sale chimice, termice și magnetice și se măsoară puterea și energia electrică.

A patra perioadă este aceea a electromagnetismului. Omul ajunge să producă curentul electric folosind magnetismul. De aci decurg aplicațiile industriale moderne: dinamuri, motoare, transformatoare, transport de energie, etc.

Scanned with OKEN Scanner

Perioada a cincia este mai complexă, fiind caracterizată prin două serii de descoperiri principale:

a) se descoperă relaţia între lumină şi electricitate ca o consecinţă a teoriei electromagnetice a luminii şi se studiază oscilaţiile electromagnetice de înaltă frecvenţă, undele herţiene, telegrafia fără fir, radiaţiile electrice emise de anumite corpuri;

b) se descoperă rolul electricităţii în constituţia materiei: descărcările în gaze rare, ionizarea gazelor, electronii, transmutaţia şi desintegrarea corpurilor radioactive.

3. Probleme din electricitate

Primele fenomene de electrizare au fost observate de Thales din Milet, acum 2500 ani. Thales a constatat că răşina frecată, atrage corpuri uşoare. Primele fenomene de magnetizare se întâlnesc la filosoful grec Platon, care descrie proprietatea pietrei magnetice de a atrage fierul.

Otto de Guericke din Magdeburg, faimosul descoperitor al pompei pneumatice, a dotat ştiinţa, pe la 1671 cu prima maşină electrică formată dintr'o sferă de sulf, învârtită cu un ax şi frecată cu mâna. Această maşină era folosită în evul mediu, ca şi alte invenţii de pe acea vreme, ca obiect de distracţie în casele nobililor feudali.

Prin frecare, sfera de sulf se încarcă cu electricitate. Apropiind un obiect oarecare de sferă, se produceau mici scântei electrice, spre uimirea tuturor. Fenomenul era înconjurat de misticism, ca de altfel întreaga ştiinţă din acea vreme.

In 1729 Gray a stabilit că există corpuri conducătoare de electricitate şi corpuri izolante.

Pe la 1733, fizicianul francez Dufay stabileşte existenţa a două feluri de electricitate: sticloasă şi răşinoasă, având proprietăţi de atracţie (când sunt de nume contrar) respectiv de respingere (când sunt de acelaşi nume). In 1746 se descoperă butelia de Leyda, primul aparat în care se putea acumula electricitatea.

Numeroşi experimentatori au făcut legătura între scânteia electrică şi fulgerul din nori, sau trăsnetul dintre nori şi pământ. La 1752, Benjamin Franklin, făcând experienta sa cu smeul, aduce dovada că norii sunt încărcaţi cu electricitate. Astfel, el a constatat că, ridicând un smeu pe vreme furtunoasă, obţinea scântei la capătul unei chei, legate la capătul

Scanned with OKEN Scanner

sforii care ţinea smeul şi care devenise conducătoare datorită ploii. El a dat ideea de a ne apăra contra trăsnetului cu ajutorul paratrăsnetelor.

Aceasta este faza preştiinţifică, în care se stabilesc o serie de fenomene de electrizare, fără însă a se ajunge la noţiuni precise asupra mărimilor electrice şi la legi ştiinţifice cantitative.

Ştiinţa electricităţii începe abia cu fizicianul Coulomb care, prin analogie cu legea atracţiei universale a lui Newton, enunţă la 1785 legea cantitativă a acţiunii între cantităţile de electricitate. Această lege a permis să se precizeze noţiunea de cantitate de electricitate şi noţiunile derivate de câmp electric şi flux de forţă. El consideră aceeaşi lege valabilă şi pentru fenomenele magnetice, presupunând că există cantităţi de magnetism, ceea ce s'a dovedit a nu fi just. Prin analogie cu ceea ce se întâmplă în cazul atracţiei gravitaţiei, matematicianii mari Laplace, Poisson, Green, au introdus în electricitate noţiunea de potenţial. Cantitatea de electricitate şi potenţialul electric sunt cei doi factori ai energiei electrice. Noţiunea de energie şi legea conservării energiei a fost introdusă în ştiinţă mai târziu, abia la 1842 de Robert Mayer.

In 1800, se produce un salt calitativ în evoluţia ştiinţei despre electricitate prin descoperirea pilei lui Volta. Cu această descoperire s'a putut obţine în mod permanent electricitate şi atunci se introduce noţiunea de debit sau intensitate de curent.

In 1824 fizicianul Ohm a descoperit celebra lege care îi poartă numele. El introduce noţiunea de rezistenţă electrică: opunerea ce prezintă un conductor la trecerea curentului electric. Legea lui Ohm stabileşte că intensitatea curentului care circulă într'un conductor este direct proporţională cu valoarea forţei electromotoare a izvorului de electricitate (pila) şi invers proporţională cu valoarea rezistenţei electrice a circuitului. Studiul electricităţii „dinamice", adică studiul curentului electric, dă un impuls puternic cercetărilor experimentale, posibilităţi care nu se bănuiau cu electricitatea „statică", care se referea la cantităţile de electricitate în stare de repaos, obţinute prin frecare. Aci trebuie căutată sursa marilor progrese realizate dela 1800 încoace. Astfel, Davy descoperă la 1801 fenomenele de electroliză, Carlyle şi Nicholson descompun apa în elementele sale componente: hidrogen şi oxigen la 26 Iunie 1800, iar Faraday la 1833 stabileşte legile cantitative ale

Scanned with OKEN Scanner

electrolizei. Davy, la 1809 descoperă arcul voltaic cu ajutorul a 2000 pile Volta.

Un alt pas important este făcut de Oersted, care la 1820 constată pentru prima dată că acul magnetic (al busolei de ex.) este deviat de curenți electrici. Ampère, studiind acest fenomen, descoperă (la 1826) legile acestor acțiuni. El stabilește legăturile dintre electricitate și magnetism, construind bazele Electromagnetismului. Tot el dă prima explicație a magnetismului care, până atunci, apărea ca un fenomen înconjurat de mister.

La 1831, Faraday descoperă inducția electrică și legile ei, care constitue baza studiului electrotehnicei. Intr'un circuit străbătut de un flux magnetic variabil ia naștere o forță electromotoare. Fizicianul rus H. Lenz descoperă legea care stabilește sensul forței electromotoare de inducție, ducând la stabilirea principiului reversibilității funcționării mașinilor electrice: generatoare și motoare.

In anul 1834 academicianul rus B. S. Iakobi a prezentat Academiei din Paris principiul primei mașini dinamo-electrice, realizată apoi practic de el. Astfel, în 1835 el, cel dintâiu, a echipat cu un astfel de motor un vas fluvial pe Neva.

In anul 1871 Gramme, meșter tâmplar la societatea Alliance din Paris, construește mașina ce-i poartă numele: dinamul Gramme, punând astfel bazele construcțiilor și neîncetatelor perfecționări ulterioare.

Cercetările ulterioare au stabilit substratul fizic real, materialist, al acestor mari descoperiri. Astfel s'a precizat că acțiunile între sarcinile electrice (legea lui Coulomb) sau între curenții electrici și magneți (legea lui Ampère) nu se fac instantaneu la distanță, ci se fac într'un timp finit și din aproape în aproape.

Fizicianul Maxwell a fost acela care a clădit construcția teoretică, matematică, a electromagnetismului. In tratatul său asupra electricității și magnetismului, publicat în 1873, el expune teoria electromagnetică a luminii care constitue sinteza tuturor cunoștințelor de până atunci asupra electromagnetismului. Teoria lui Maxwell se bazează, între altele, pe două ipoteze:

a) o perturbare electrică și magnetică se face în mod finit din aproape în aproape;

Scanned with OKEN Scanner

b) în momentul încărcării cu electricitate a unui condensator, prin mediul izolator dintre cele două armaturi, denumit dielectric, care poate fi și aerul, se stabilește un curent electric, numit de el curent de deplasare.

Acest curent de deplasare se adaugă la curentul obișnuit numit de conducție (care străbate conductorii), sau poate exista fără acesta. El are toate proprietățile electrice și magnetice ale unui curent obișnuit. De aceea Maxwell îi aplică legea lui Ampère, care dă analitic acțiunea unui curent asupra unui magnet și legea inducției a lui Faraday, care dă analitic fenomenul reciproc, adică curentul electric născut prin variația fluxului magnetic. El ajunge să stabilească o legătură între variația câmpului magnetic și electric în timp și în spațiu. Consecința cea mai importantă a teoriei lui Maxwell este aceea că el a dedus, pe baza intuiției sale matematice că, deoarece perturbațiile electromagnetice se propagă cu vitesa luminii, există o analogie între fenomenele electromagnetice și fenomenele luminoase. Fundamentarea experimentală a acestei teorii o face H. Hertz la 1888, care realizează experimental unde electromagnetice și le măsoară vitesa de propagare pe care o găsește egală cu vitesa de propagare a luminii (300 000 km/s). Apogeul acestei teorii se arată în aplicarea undelor electrice, în telegrafie fără fir și radiotehnică, de către marele savant rus A. S. Popov, la 1895.

In concepția lui Maxwell, electricitatea se manifestă prin linii de forță electrică care străbat mediul înconjurător al unui corp încărcat cu electricitate. In acest mediu, denumit câmp electric, este localizată energia electrică.

Curentul electric, pe lângă acest câmp electric, produce, după cum știm, și un câmp magnetic.

Liniile de forță electrică pleacă dela un corp încărcat cu electricitate și se termină la alt corp încărcat cu electricitate, în timp ce liniile de forță magnetică sunt curbe care înconjoară corpul străbătut de curent. Astfel teoria lui Maxwell este denumită și teoria câmpului electromagnetic.

Un alt fizician, H. Lorentz (1853-1928) a creat o altă teorie, anume teoria electronică. Această teorie explică fenomenele electrice ce se petrec în materie, în conductori, unde teoria lui Maxwell nu încerca să pătrundă. Este necesar să știm în ce constă cantitatea de electricitate, ce diferență avem între electricitatea rășinoasă și între cea sticloasă, între

Scanned with OKEN Scanner

sarcinile pozitive și cele negative și cum se efectuează fenomenele electrice în materie, adică ce este mișcarea electricității prin metale (curentul electric în conductori), prin lichide sau prin gaze.

Teoria electronică consideră fenomenele electromagnetice ce au loc în materie ca rezultând din arajamentul și mișcarea unor particule mai mici decât atomul de hidrogen și încărcate cu electricitate negativă. Aceste particule negative sunt numite *electroni*, de unde numele de teoria electronică.

In metale parte din electroni se pot libera și pot să treacă dela un atom la altul, deci metalele au *conductibilitate electrică*. Când electronii se învârtesc în jurul nucleului din atom, mișcarea acestor cantități de electricitate, care în fond formează un curent electric, dă naștere la fenomene de magnetism (după legile lui Ampère). Mișcarea electronilor în jurul nucleului produce și o emisie de unde electromagnetice de frecvență mare inclusiv *unde luminoase*. Emisia luminoasă poate fi influențată de un câmp magnetic puternic, așa cum s'a arătat de Zeeman la 1896.

Punerea în evidență a electronilor s'a putut realiza prin descărcările în gaze. De asemenea s'au realizat condițiile de transformare de electroni în unde electromagnetice sau unde luminoase (razele X descoperite de Roentgen la 1895 și radioactivitatea descoperită de H. Becquerel în 1896), precum și transformarea inversă, astfel ca prin unde luminoase să se smulgă electroni din materie (fotoelectricitatea). Lucrările asupra electronilor au dus la stabilirea structurii materiei și a nucleului atomic. Știința modernă consideră că electricitatea, magnetismul și optica cuprind fenomene strâns legate între ele, de aceeași natură, care se influențează reciproc.

In 1900 Planck a imaginat teoria cuantelor.

Sub ultimul ei aspect, sub formă de mecanică ondulatorie desvoltată de L. de Broglie în 1925 și E. Schrödinger în 1926, se stabilește o legătură între masa unui electron și fenomenele ondulatorii ale undelor luminoase și electromagnetice.

Cercetările experimentale au dat un continuu avânt electricității moderne, care a deschis noi orizonturi pentru înțelegerea naturii.

Bazat pe metoda materialist-dialectică, Lenin a întrevăzut cu mulți ani în urmă această fază de desvoltare a cunoștințelor noastre asupra electricității, în cartea sa „Materialism și empiriocriticism".

Scanned with OKEN Scanner

Cercetările experimentale din ultimii ani s'au concentrat asupra desintegrării atomilor prin bombardarea lor cu particule accelerate cu aparate speciale. S'au descoperit noi particule în structura nucleului. In toate aceste cercetări, savanţii sovietici aduc zi de zi o importantă contribuţie la progresul ştiinţei.

4. Electrotehnica în construirea societăţii comuniste

Energia electrică se obţine în uzine termoelectrice, construite în centrele mari de zăcăminte de combustibil (păcură, gaze, cărbuni) sau în uzine hidroelectrice (căderi de apă zisé şi cărbune alb). Dela aceste uzine, energia electrică se transmite şi se distribue în centrele de consum.

Energia electrică poate fi uşor transportată la distanţă şi distribuită consumatorilor în cantităţi, după nevoie: de ex. dela câţiva zeci de waţi pentru becurile electrice până la sute de kilowaţi pentru motoarele electrice mari.

Uşurinţa transportului energiei electrice soluţionează problemele în legătură cu repartizarea industriei. Astăzi fabricile şi uzinele se instalează pe lângă sursele de materii prime, sau în locurile unde se pot uşor prelucra aceste materii prime, iar uzinele electrice se pot instala pe lângă sursele de combustibil sau pe lângă malurile râurilor.

Energia electrică se transportă dela uzina electrică la centrele de consum prin linii aeriene sau subterane.

Una din cele mai importante proprietăţi ale energiei electrice o constitue universalitatea sa. Orice fel de energie, (mecanică, termică, chimică, etc.) poate fi transformată în energie electrică şi invers: energia electrică poate fi transformată în energie mecanică, termică, chimică etc. Aceste transformări de energie, se realizează cu pierderi minime.

In centrele de *consum*, energia electrică se tranformă în acea formă de energie pe care o cere procesul tehnologic respectiv.

Utilizarea energiei electrice poate aduce modificări proceselor tehnologice.

Astfel, acţionarea mecanică a maşinilor din fabricile secolului al XIX-lea cu ajutorul maşinilor cu abur a cedat locul motoarelor electrice, care acţionează individual maşinile, adică, fiecare maşină este acţionată de electromotorul său. In felul

Scanned with OKEN Scanner

acesta se poate crea o producție în masă, continuă și mai economică.

Omului îi revine în procesul de lucru numai rolul de organizator, el mânuește energia electrică. Pe lângă acestea, cunoașterea temeinică a legilor electricității și a formelor sub care se întrebuințează energia electrică, permit eliberarea omului de munca fizică grea și de efectuarea unor procese de producție monotone și obositoare, muncile grele fiind executate de mașini automate. Rolul omului este acela de a urmări dintr'un punct central indicațiile aparatelor de măsură, dându-și astfel seama de felul în care lucrează instalațiile respective și intervenind numai atunci când se produce o perturbare în funcționarea lor normală.

Deci omului i se cere în acest caz, gândire, atenție, inițiativă, idei creatoare, adică muncă mai calitativă.

Pentru ca omul să ajungă în această situație, este necesar să se construiască multe mașini-unelte electrificate, deci un mare număr de uzine electrice de mare putere. Fiecare pas făcut în această direcție, adică a electrificării, mărește producția de bunuri necesare oamenilor și, în acest mod, se poate merge spre îmbunătățirea condițiunilor de viață.

Electrotehnica actuală este organizatoarea noii vieți industriale. După cum inima trimite sângele în tot organismul, tot așa și uzina electrică regională alimentează cu energie toată viața industrială și gospodărească din acea regiune.

In U.R.S.S., genialul Lenin a înțeles însemnătatea deosebită a desvoltării electrotehnice. Una din primele măsuri de gospodărire a puterii sovietice a fost planul general de electrificare al țării cunoscut sub denumirea G.O.E.L.R.O. In anii de construcție industrială a țării a crescut vertiginos baza energetică a Uniunii Sovietice, creându-se totodată o puternică industrie electrotehnică. După mărețele planuri cincinale staliniste s'a construit o rețea puternică de uzine electrice și o industrie multilaterală a electrotehnicei, capabilă să producă tot ce este necesar pentru electrificarea industriei și a agriculturii.

Astăzi tehnicianul și inginerul sovietic, din orice domeniu de activitate, se folosește de avantajele electrificării. El știe că utilajul electrotehnic corespunde transformărilor revoluționare ale tehnicei reclamată de construcția societății comuniste.

Importanța electrificării a fost formulată clar de către

V. I. Lenin, în anul 1920: „COMUNISMUL ESTE PUTEREA SOVIETELOR, PLUS ELECTRIFICAREA INTREGII ȚĂRI".

In U.R.S.S. această lozincă a devenit o sarcină pentru Partidul Comunist (bolșevic), iar datorită îndrumării Partidului și efortului oamenilor muncii din U. R. S. S. realizarea electrificării contribue la lichidarea contradicțiilor dintre munca fizică și intelectuală.

Acolo electrificarea a dat posibilitatea desvoltării unor tipuri noi de mașini-unelte, care constitue agregate complexe utilizând simultan mai multe motoare electrice.

Tot electrificarea a permis în U.R.S.S. introducerea operațiunilor automate pe bandă, sistem utilizat cu succes în întreprinderile fruntașe. Utilizarea energiei electrice a modificat unele procese tehnologice ca sudura electrică, electroliza, obținerea temperaturilor înalte, călirea cu curenți de înaltă frecvență, etc.

Utilizarea electricității în radiofonie, telefonie, telegrafie, radiocomunicații, contribue la lichidarea înapoierii culturale a satelor.

In țara socialismului s'a pus problema eliberării omului de munca fizică grea și de manevrarea unor procese de producție monotone și obositoare. Rezolvarea acestei probleme și-a găsit soluția prin automatizare. Acțiunile de control și de comandă sunt executate de către automate electrice.

In U.R.S.S., oamenii muncii au uitat pentru totdeauna de șomaj, ceea ce nu se petrece în țările imperialiste, unde realizările științei și ale tehnicei duc la robirea celor ce muncesc și la sporirea șomajului.

In țara socialismului orice realizare a științei și a tehnicei este folosită pentru ridicarea continuă a bunei stări a oamenilor muncii și pentru întărirea puterii Statului.

Electrificarea este un mijloc de apropiere a satului de oraș, deci de ștergerea contradicțiilor dintre ele.

Energia electrică permite o distribuire a energiei pe o suprafață mare. Repartizarea ei în cantități mici, ușurința de transformare în energie mecanică, fac posibilă utilizarea energiei electrice și în agricultură.

Astfel, urmărind îmbunătățirea condițiilor de viață a celor ce muncesc, la orașe și sate, electrificarea agriculturii sovietice a trecut prin următoarele faze:

Scanned with OKEN Scanner

în 1913 erau 2 000 kW putere instalată pentru agricultură
în 1932 erau 65 900 kW " " " "
în 1950 vor fi 2 269 000 kW " " " "

Planul cincinal de refacere și de desvoltare a economiei naționale a U.R.S.S.-ului pe anii 1946-1950 prevede pentru electrotehnică mărirea producției de energie electrică până la 82 miliarde kWh, adică cu 70% peste nivelul dinainte de război. Partea pe care energia hidroelectrică o ocupă în totalul producției de energie electrică se mărește dela 0,5% cât era în 1940, la 15,2% în 1950.

In acești cinci ani se vor pune în funcțiune uzine electrice cu o capacitate de 11 700 000 kW, dintre care 3 500 000 kW revin uzinelor hidroelectrice mari și mici.

Tot acest plan mai prevede, odată cu mecanizarea și electrificarea operațiunilor de producție existente și desvoltarea unor ramuri noi ale tehnicei, printre care aplicarea electrotehnologiei în producția de metale ușoare, de oțeluri speciale, de produse colorante și chimice ca și în prelucrarea metalelor.

La noi în țară, electrificarea este sarcina de bază ce ne revine pentru construirea socialismului. Burghezia noastră, în decurs de 60 ani a realizat o putere instalată de cca 600 000 kW. Planul de Stat pentru următorii 5 ani prevede lichidarea acestei înapoieri economice, prin înmulțirea uzinelor electrice, așa ca în 1955 să avem în R.P.R. o putere de 2 milioane kW,

5. Rolul tehnicianului și inginerului

Energia electrică este utilizată în toate ramurile economiei și zilnic își găsește sfere noi de utilizare. Nu poate exista inginer sau tehnician fără cunoștințe în domeniul electrotehnicei. Fără acestea nu poate fi muncitor de frunte în specialitatea sa. Aplicarea electrotehnicei aduce întotdeauna economie de energie și, ceea ce este mai important, aduce și eliberarea omului de munca fizică.

Pentru a conduce agregate electrice se cere întotdeauna dela om mai puține eforturi ; însă pentru a dirija mii de kW și pentru a-i utiliza, se cere mai multă pricepere, căci o lipsă de atenție, o delăsare, etc., poate produce mari distrugeri.

Desvoltarea electrotehnicei și a utilajului electric merge cu pași repezi, încât este imposibil astăzi să prevedem cum

Scanned with OKEN Scanner

va fi utilizată energia electrică pentru îmbunătățirea proceselor de producție și pentru rezolvarea multor probleme ce azi ne par nerezolvabile.

Sunt o serie de aparate electrice, utilaje și mașini, care nu de mult au fost cunoscute numai de către un cerc restrâns de specialiști electricieni, iar azi sunt în mod obișnuit întrebuințate în industrii. Lampa electronică și fotoelementul, inventate nu de mult, sunt azi folosite nu numai ca mijloace cu care se pot rezolva diferite probleme de control și automatizare a producției, dar ele au intrat și în uzul comun, sub forma de aparate de radiorecepție, aparate de cinema sonor, etc.

Tânărul tehnician sau inginer trebue deci să cunoască, cel puțin în linii generale, tot domeniul vast al electrotehnicei; el trebue să urmărească desvoltarea atât teoretică cât și practică a electrotehnicei. Numai așa va putea să se ajute de mecanismele noi electrice, să folosească principii noi și să-și îmbunătățească munca lui și a celor cu care lucrează.

De ex.: el va avea posibilitatea să înlocuiască transmisia cu roți dințate și cutia de vitese de la o mașină unealtă cu un motor electric, care permite mai ușor o largă reglare a vitesei; el va putea, prin fotoelemente și lămpi electronice, să execute după desen lucrul la mașinile unelte, eliberându-se de munca monotonă ce se repetă în conducerea mașinii, înlocuind-o cu automatul electric. Tehnicianul textilist va pune automate electrice la războaie care vor urmări funcționarea suveicii, înlocuirea țevilor în suveică, etc.; el va înlocui aprecierea cu ochiul liber a calității firului prin metode de măsură electrice precise.

Un chimist sau metalurgist va pune automate electrice în locurile de producție periculoase sau dăunătoare omului; el va putea, cu automatele electrice, realiza un program precis în conducerea temperaturii, presiunii, cantității de aer în timpul proceselor de producție, etc. Fotoelementul va înlocui pe om, acolo unde fiecare fracțiune de secundă joacă un rol important, unde întârzierea poate aduce pierderi de energie și scăderea calității produsului, iar graba ar însemna deteriorarea mașinii.

In concluzie, un astfel de tehnician sau inginer, care a înțeles toată valoarea electrotehnicei și care a învățat să o folosească ușor, poate deveni un fruntaș în specialitatea sa, un inovator îndrăzneț în domeniul său de activitate și un revoluționar în tehnică.

Scanned with OKEN Scanner

PARTEA II

STUDIUL ELECTROTEHNICEI

CAP I. CURENTUL ELECTRIC

6. Experienţă

Legăm între ele cu sârmă izolată de cupru, după cum se arată în *fig. 1*:

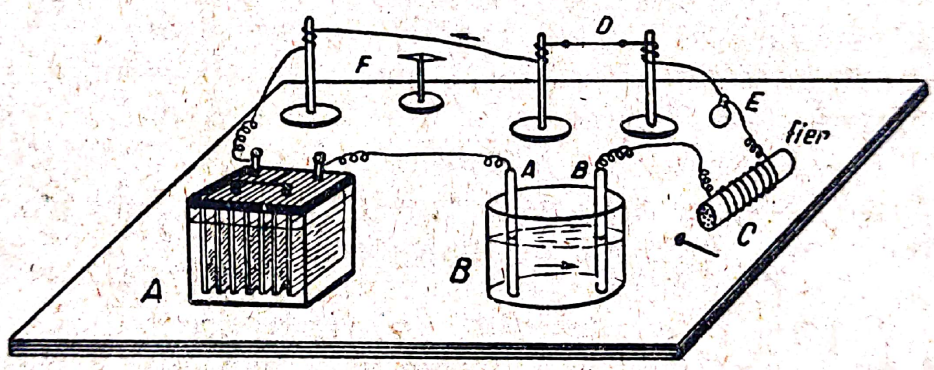


Fig. 1. Efectele curentului electric.

— o baterie puternică de acumulatoare *A*, care este un izvor de curent electric *E*,

— un bec electric,

— un vas cu apă acidulată *B*, în care sunt introduse două fire metalice,

— o bobină cu fir metalic izolat, înfăşurat pe un cilindru de fier *C*,

— un fir metalic foarte subţire *D*.

Scanned with OKEN Scanner

Toate acestea se leagă între ele cu fire conductoare, care alcătuesc circuitul.

După ce am făcut montarea și circuitul este închis, se observă următoarele:

— încălzirea firului subțire până la incandescență și topire chiar. Curentul electric produce deci *acțiuni termice* (de încălzire) și *luminoase*;

— degajarea de gaze în lichidul din vasul *B*, indicată de băşicile care apar la vârfurile firelor. Dacă culegem aceste gaze în două eprubete, găsim la unul din fire oxigen iar la celalălt hidrogen, adică elementele care compun apa. Rezultă că curentul electric a produs descompunerea apei, adică a produs o *acțiune chimică*;

— cilindrul de fier *C* capătă proprietatea de a atrage bucăți ușoare de fier. Când deschidem circuitul, fierul pierde această proprietate. Același lucru se observă și dacă așezăm un ac magnetic *F* în apropierea conductorilor (firelor) de legătură: când circuitul este închis, constatăm că acul deviază din poziția lui *N—S*, fiindcă în jurul acestui conductor s'a creat un câmp magnetic. Rezultă deci că un curent electric produce *acțiuni magnetice*;

— în afară de acțiunile arătate mai sus, curentul electric mai produce și acțiuni asupra mușchilor organismelor vii, deci și *efecte fiziologice*, după cum ne putem ușor convinge prin atingerea celor două capete ale bateriei, dacă bateria este destul de puternică (cu mai multe elemente).

Toate aceste acțiuni se datoresc curentului electric. Atunci când închidem circuitul, acumulatorul, care este un izvor de electricitate, dă naștere unui curent de particule electrice în circuit. Experiența a constatat existența acestor particule de electricitate, care s'au numit electroni. Incă din a doua jumătate a secolului trecut, oamenii de știință au început să socotească electricitatea ca o știință care studiază fenomenele produse de acești electroni.

7. Producerea electricității prin reacțiuni chimice

Introducem o placă de cupru și o placă de zinc într'un vas de sticlă, plin cu apă, în care am turnat și câteva picături de acid sulfuric. Unim cele două plăci printr'un fir de cupru. Dacă apropiem de fir acul unei busole, constatăm că

Scanned with OKEN Scanner

este deviat și tinde să se așeze perpendicular pe fir, iar firul se încălzește. Devierea acului magnetic și încălzirea firului sunt datorite, după cum rezultă din experiența de mai sus, curentului electric care trece prin fir. Forma de energie care se manifestă prin curent electric se numește electricitate.

Aparatul descris mai sus este un generator de electricitate și se numește *pilă electrică*. Reprezentarea schematică se face prin două liniuțe: una scurtă și groasă, cealaltă lungă și subțire.

In acest generator, energia chimică, provenită din acțiunea acidului sulfuric asupra zincului, s'a transformat în energie electrică. Placa de cupru și placa de zinc formează polii generatorului.

8. Circuitul electric și sensul curentului

Pila, împreună cu firul de cupru ce leagă polii săi, formează un circuit electric *(fig. 2)*. In circuitul electric pot intra atât *receptoare* (aparate care folosesc curentul electric, cum ar fi becurile electrice, motoarele electrice, etc.) cât și *întrerupătoare*, care întrerup curentul electric.

Curentul electric, care circulă în acest circuit, are un anumit sens, pe care îl putem constata cu ajutorul acului magnetic. Cât timp curentul circulă prin circuit, acul magnetic tinde să se așeze perpendicular pe fir.

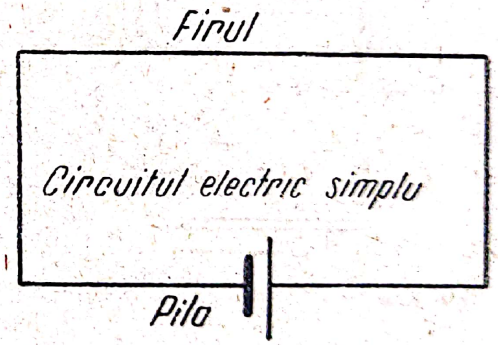


Fig. 2. Circuit electric.

Dacă se inversează legătura conductorului cu cei doi poli ai pilei *(fig. 3)*, acul magnetic tinde să se așeze tot perpendicular pe fir, însă cu polul său Nord rotit cu 180° față de prima poziție. Efectul magnetic depinde, prin urmare, de sensul curentului în fir. Legătura dintre sensul acestui curent și deviația acului magnetic este dată de regula următoare:

Presupunem un observator culcat de-a-lungul firului, cu fața în jos spre fir; în această poziție, spunem că curentul are direcția dela picioare la cap, dacă polul Nord al acului magnetic deviază în stânga observatorului, când acul este așezat sub fir.

Scanned with OKEN Scanner

Borna generatorului, dela care pleacă curentul, a fost numită *polul pozitiv* (+), iar borna la care se întoarce curentul, *polul negativ* (—). Curentul electric în conductor circulă deci dela

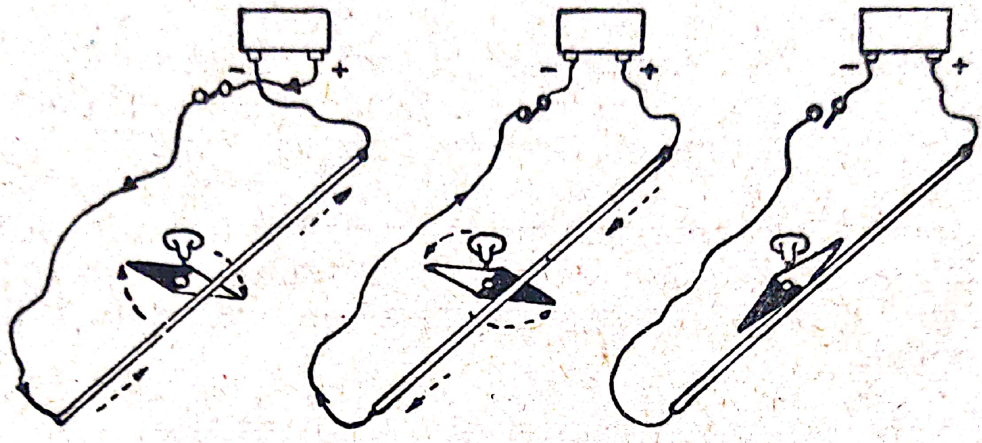


Fig. 3. Stabilirea sensului curentului cu ajutorul acului magnetic.

polul pozitiv către polul negativ. Devierea acului magnetic sub acţiunea curentului electric se poate vedea şi din *fig. 4.*

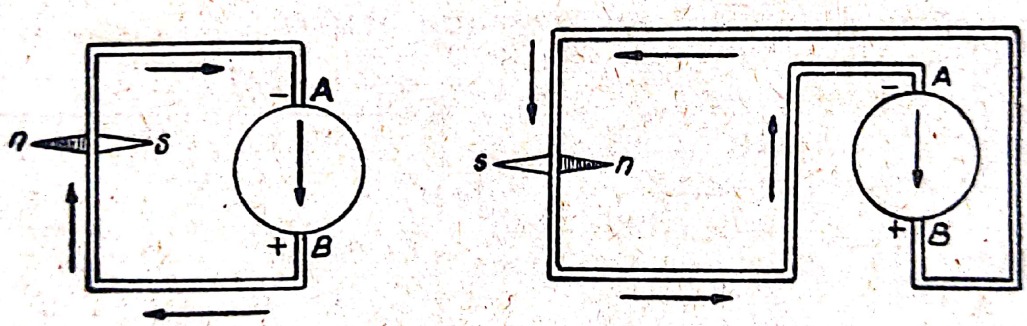


Fig. 4. Devierea acului magnetic sub acţiunea curentului electric.

Curentul electric poate fi continuu şi alternativ.

Curentul continuu are mereu acelaşi sens şi este dat de pile, de acumulatoare şi de dinamuri.

In schimb, *curentul alternativ* este variabil ca sens, adică îşi schimbă sensul de mai multe ori pe secundă şi este produs de alternatoare.

Curentul electric continuu este asemănător cu un curent de apă, care circulă într'un tub care leagă orificiul de aspiraţie cu orificiul de respingere al unei pompe centrifuge *(fig. 5)*. Curentul de apă are mereu acelaşi sens.

Scanned with OKEN Scanner

Curentul electric alternativ se aseamănă cu curentul de apă care este aspirat şi respins într'un tub care leagă cele două orificii ale unui cilindru, în interiorul căruia se deplasează un piston *(fig. 5 b)*. Când pistonul se ridică, curentul de apă are un sens, iar când coboară, curentul de apă are sens contrar.

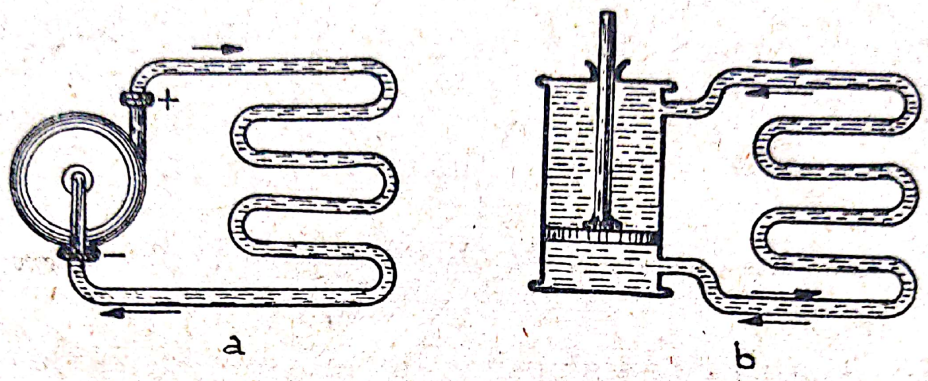


Fig. 5. Asemănarea curentului electric alternativ cu curentul de apă.

9. Forţa electromotoare

Cauza care împinge electronii să circule în conductoare este presiunea electrică din interiorul pilei sau al generatorului, pe care o numim *forţă electromotoare*. O parte din această presiune se pierde în interiorul pilei, aşa că, la polii ei avem o presiune electrică mai mică. Aceasta este numită *tensiunea la borne.*

Dacă, în loc de presiune, vorbim de diferenţa de presiune dintre poli, presiunea la borne o putem numi şi *diferenţă de potenţial sau tensiune.*

După, cum apa se mişcă dela partea unde presiunea este mai mare către partea unde presiunea este mai mică, tot aşa şi electricitatea se mişcă dela borna unde presiunea electrică este mai ridicată, spre borna unde presiunea este mai mică.

Presiunea apei se măsoară în atmosfere.

Presiunea electrică, adică forţa electromotoare, tensiunea sau diferenţa de potenţial se măsoară în *volţi* (V). Voltul este deci o unitate de măsură.

Aparatul cu ajutorul căruia se măsoară forţa electromotoare, tensiunea şi diferenţa de potenţial se numeşte *voltmetru.*

Câteva exemple:

Scanned with OKEN Scanner

O pilă obișnuită produce o f. e. m. de 1,5 V. Alternatoarele (producătoare de curent alternativ) produc în mod obișnuit o f. e. m. de 6000 V.

Transportul electricității (al energiei electrice) dela uzina Dobrești la uzina Grozăvești din București se face la tensiunea de 110 000 V. Tensiunile întrebuințate pentru luminatul electric sunt 120 sau 220 V.

Când tensiunea dintre firele unei instalații electrice este mai mică de 500 V, instalația se numește de *joasă tensiune.*

Dacă instalația utilizează tensiuni superioare acesteia, atunci se numește de *înaltă tensiune.*

10. Intensitatea curentului electric. Cantitatea de electricitate

Intensitatea curentului electric este cantitatea de electricitate, care trece într'o secundă, prin secțiunea perpendiculară pe axa conductorului. Intensitatea curentului electric se aseamănă cu debitul de apă (cantitatea de apă, care trece într'o secundă prin secțiunea conductei).

Dacă însemnăm cu I intensitatea curentului, cu Q cantitatea de electricitate care trece prin secțiunea transversală a conductorului într'un timp t, atunci, din definiția dela început, avem relația următoare:

$$I = \frac{Q}{t} \qquad (1)$$

Unitatea practică pentru măsurarea intensității curentului electric este *amperul.*

Mărimea amperului a fost stabilită astfel:

Amperul este intensitatea unui curent electric continuu, care depune 1,118 miligrame de argint în timp de o secundă, când circulă printr'o soluție apoasă de azotat de argint.

Amperul are ca simbol litera A.

Aparatul cu care se măsoară intensitatea curentului electric se numește *ampermetru.* El se leagă, în circuit, în serie cu receptorul a cărui intensitate o măsurăm.

Din formula (1), rezultă:

$Q = I \times t$; dacă $I = 1$ A, iar $t = 1$ s avem:

$Q = 1$ A $\times$ 1 s $= 1$ amper - secundă $= 1$ As, care se mai numește și *coulomb* (C).

Scanned with OKEN Scanner

Coulombul este, așa dar, unitatea de măsură pentru cantitatea de electricitate Q.

O unitate mai mare de cantitate de electricitate este amperora (Ah):

$$1\ \text{Ah} = 1\ \text{A} \times 1\ \text{h} = 1\ \text{A} \times 3600\ \text{s} = 3600\ \text{As} = 3600\ \text{C}.$$

Exemplu: Care este cantitatea de electricitate pe care o va primi un acumulator, încărcat dela un generator care debitează un curent de 5 A, în timp de 8 ore?

$$Q = I \times t = 5\ \text{A} \times 8\ \text{h} = 40\ \text{Ah}.$$

11. Densitatea curentului electric

Se numește *densitatea curentului electric* raportul dintre intensitatea curentului electric în amperi, și secțiunea conductorului străbătut de curent în mm²:

$$J = \frac{I}{S} \qquad (2)$$

Densitatea curentului se măsoară în A/mm².

12. Câmp electric. Tensiune electrică

Dacă legăm două lame metalice *I* și *II* (din *fig. 6*), așezate în față și paralel, la bornele unui generator electric de curent continuu *(G)*, una din plăci se va încărca cu electricitate pozitivă *(II)*, iar cealaltă cu eletricitate negativă *(I)*

Intre cele două plăci se creează un *câmp electric*. Dacă în acest câmp, în punctul *A*, introducem o cantitate de electricitate, de ex. pozitivă, asupra acesteia va acționa o forță *F*, care tinde să o atragă în spre placa încărcată negativ *(fig. 6)*.

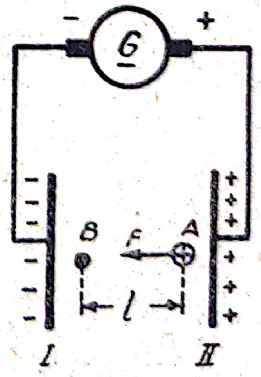


Fig. 6.
Câmp electric.

Se numește *câmp electric* spațiul în care o cantitate de electricitate este acționată de o forță de atracție sau de respingere.

Forța cu care acționează acel câmp asupra unei cantități de electricitate egală cu unitatea aflată într'un punct al câmpului se numește *intensitatea câmpului* electric în acel punct.

Dacă, într'un punct oarecare al câmpului electric, canti-

tatea de electricitate Q este acționată de către o forță F, atunci intensitatea câmpului electric va fi:

$$E = \frac{F}{Q}, \text{ sau } F = QE$$

Dacă $Q = 1$, atunci $E = F$, adică intensitatea câmpului electric într'un punct este egală cu forța F care acționează asupra unității de electricitate din acel punct.

Direcția forței care acționează asupra cantității de electricitate pozitivă este și direcția câmpului.

Un câmp electric este *uniform* când în orice punct al său direcția și intensitatea sa sunt aceleași.

Dacă într'un câmp uniform cantitatea de electricitate Q se deplasează sub acțiunea forțelor câmpului, cu distanța l (în *fig. 6* dela A la B), ea execută un lucru mecanic.

$$W = F \times l = Q \times E \times l \qquad (3)$$

Raportul dintre lucrul mecanic W, executat pe distanța $A - B$ și cantitatea de electricitate Q transportată, se numește tensiune electrică (U), între punctele $A - B$, adică:

$$U = \frac{W}{Q} \qquad (4)$$

Dacă $Q = 1$, atunci $U = W$, adică tensiunea între două puncte este egală cu lucrul mecanic necesar deplasării unității de cantitate de electricitate între acele puncte.

In sistemul de unități practice, lucrul mecanic se măsoară în jouli (J) [1]), iar cantitatea de electricitate în coulombi (C), deci:

$\frac{1\ J}{1\ C} = 1$ V, care este unitatea de măsură a tensiunii electrice.

Tensiunea este de un volt între două puncte, când, pentru deplasarea unui coulomb între acele puncte, a fost necesar un lucru mecanic de 1 joule.

---

1) Joulul este unitatea de măsură a lucrului mecanic în sistemul C. G. S.

Scanned with OKEN Scanner

Un multiplu al unității de tensiune, adică al voltului, este kilovoltul (kV):

$$1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}.$$

Exemplu: Pentru a deplasa o cantitate de electricitate $Q = 5$ C pe o porțiune de circuit electric, a fost necesar un lucru mecanic de 22,5 jouli. Care a fost tensiunea între cele două puncte (capete) ale porțiunii de circuit?

$$U = \frac{W}{Q} = \frac{22,5}{5} = 4,5 \text{ V}$$

O baterie de buzunar are o tensiune la borne de 4,5 volți, tensiunea rețelei de iluminat este de 110-120-220 de volți, tensiunea rețelei de transportat energie electrică pe distanțe mari ajunge la 220 000 de volți.

Tensiunea se măsoară, după cum s'a spus, cu aparatul numit voltmetru.

Voltmetrul se leagă între punctele circuitului între care vrem să măsurăm tensiunea; el se leagă în derivație față de sursă sau de receptoare.

Din ecuația (3) rezultă intensitatea câmpului electric:

$$E = \frac{W}{Q \times l}$$

Ținând seamă de ecuația (4) obținem:

$$E = \frac{U}{l} \qquad (5)$$

Cum tensiunea se măsoară în volți, iar lungimea în centimetri, intensitatea câmpului se măsoară în volți pe centimetri (V/cm).

CAP. II. REZISTENȚELE ELECTRICE

13. Experiență

Realizăm montarea din figura 7, unde:
B este o baterie de acumulatoare,
A un ampermetru,
V un voltmetru.

Scanned with OKEN Scanner

Intre X şi Y se montează pe rând fire metalice, de fier, de aluminiu de şi cupru, etc., având lungimi şi secţiuni diferite.

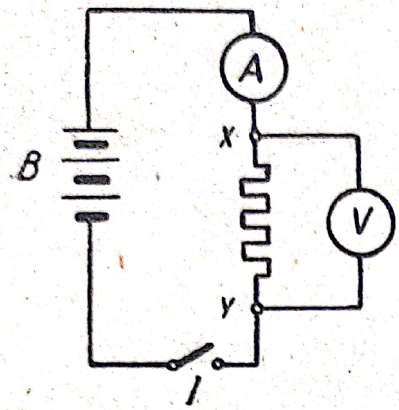


Fig. 7. Circuit cu rezistenţe diferite legate între X şi Y.

Atunci când se închide întrerupătorul I, vedem că, deşi voltmetrul V arată aceeaşi tensiune, totuşi ampermetrul A va indica diferite intensităţi ale curentului electric debitat de acumulatoare, după natura şi dimensiunile sârmelor legate între X şi Y şi anume :

— pentru firele care au aceeaşi lungime şi aceeaşi secţiune, ampermetrul ne arată valori diferite, după cum firul este de fier, de aluminiu, de cupru, etc.

— pentru firele care au aceeaşi lungime şi sunt compuse din aceeaşi substanţă, ampermetrul va arăta valori cu atât mai mari sau mai mici, cu cât secţiunea este mai mare sau mai mică ;

— pentru firele care au aceeaşi secţiune şi sunt compuse din aceeaşi substanţă, ampermetrul va arăta valori cu atât mai mari sau mici cu cât lungimea este mai mică sau mai mare.

14. Calculul rezistenţei electrice

Rezistenţa electrică reprezintă opunerea făcută de un conductor la trecerea electronilor. Se notează în scheme prin semnul convenţional din *fig. 8.*

Fig. 8. Semnul convenţional al rezistenţei.

Din experienţa de mai sus rezultă că rezistenţa electrică a unui conductor depinde de materialul conductorului (rezistenţa specifică ρ) şi este proporţională cu lungimea conductorului (l) şi invers proporţională cu secţiunea conductorului (s).

Formula de calcul este deci :

$$R = \rho \frac{l}{s} \qquad (6)$$

Unitatea de măsură pentru rezistenţele electrice se numeşte *ohm.* Un ohm (Ω) este rezistenţa electrică a unei coloane de mercur de secţiune constantă, care are înălţimea de

106,3 cm și greutatea de 14,452 g la temperatura de 0^0 (secțiunea coloanei este 1 mm^2).

Rezistența specifică a unui material (ρ) este rezistența unui fir făcut din materialul considerat cu secțiunea de 1 mm^2, lung de 1 m, la temperatura de 20^0.

Intru cât rezistența electrică se măsoară în ohmi, secțiunea în mm^2, iar lungimea în metri, rezistența specifică va fi exprimată în $\Omega \frac{mm^2}{m}$.

In tabela de mai jos sunt date valorile $\frac{\Omega mm^2}{m}$ pentru rezistențele specifice ale principalelor materiale întrebuințate sub formă de conductoare.

Conductibilitatea electrică este inversul rezistenței electrice și se notează cu litera g:

$$g = \frac{1}{R} \qquad (7)$$

Unitatea de măsură a conductibilității se numește de unii mho, alții au propus mai în urmă Siemens (S) [1]).
Valoarea ei este inversul unui ohm; se întrebuințează rar.

$$1 \text{ mho} = 1 \text{ S} = \frac{1}{1\,\Omega}$$

Tabela 1

Nr.	Materialul	ρ la $t = 20^0C$ în $\Omega \frac{mm^2}{m}$	α între 0 și 100^0C
1	Aluminiu	0,0278	0,00423
2	Alamă	0,04	0,002
3	Argentan	0,47	0,0004
4	Carbon	7,25	0,0003
5	Constantan	0,49	0,00004
6	Crom	1,3	0,0004
7	Cupru	0,0175	0,004
8	Manganin	0,42	0,00006
9	Nicrom	0.98	0,0003
10	Oțeluri	0,13–0,20	0,00625
11	Plumb	0,221	0,00411
12	Wolfram	0,0612	0,00464

1) „Siemens", la începutul veacului, era o unitate de rezistență.

Scanned with OKEN Scanner

Aplicaţii

1. Care este rezistenţa R a unui fir de cupru lung de 25 km cu diametrul de 8 mm ?

$$R = 0{,}0175 \times \frac{25\,000}{\frac{3{,}14}{4} 8^2} = 8{,}7 \text{ ohmi.}$$

2. Care trebue să fie secţiunea unui fir de oţel lung de 400 m pentru a avea o rezistenţă de 6 Ω ?

$$s = 0{,}13 \times \frac{400}{6} = 8{,}7 \text{ mm}^2.$$

3. Care trebue să fie lungimea unui fir de constantan având diametrul de 1 mm pentru a avea o rezistenţă de 50 Ω ?

$$l = \frac{50 \times 0{,}785}{0{,}49} = 80 \text{ m.}$$

15. Variaţia rezistenţei electrice cu temperatura

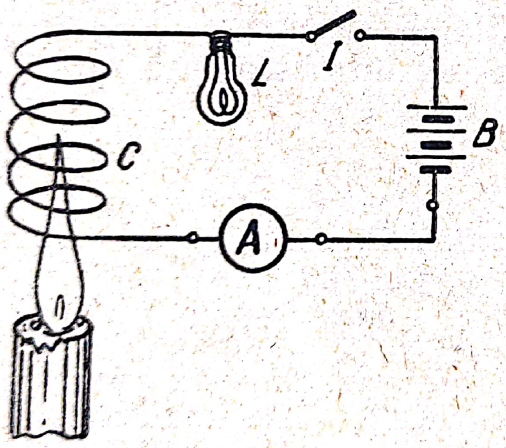


Fig. 9. Modificarea rezistenţei unui circuit, cu temperatura lui.

Experienţă: Realizăm circuitul din *fig. 9* alcătuit din :

— un fir înfăşurat în formă de bobină C, pentru a avea o lungime mare într'un spaţiu mai restrâns ;

— un bec L legat: în serie cu acest fir ;

— un ampermetru A legat de asemenea în serie şi o baterie de acumulatoare B.

Când circuitul este închis de întrerupătorul I, becul dă o lumină puternică. Dacă încălzim bobina C cu un bec de gaz sau alt mijloc, observăm că lumina becului devine din ce în ce mai slabă, până aproape se stinge. Filamentul becului are o coloare roşie închisă şi nu mai luminează. Dacă îndepărtăm flacăra, circuitul se va răci. Observăm că filamentul becului capătă o coloare tot mai vie, până ajunge din nou la incandescenţă, când circuitul s'a răcit. Dacă în acest timp observăm variaţia intensităţii curentului debitat de acumulator, vedem că indicaţia am-

Scanned with OKEN Scanner

permetrului A este cu atât mai mică cu cât firul bobinei C este mai cald.

Experienţa de mai sus ne arată că modificările temperaturii conductorului provoacă modificarea rezistenţei sale.

Rezistenţa conductorului poate să crească odată cu ridicarea temperaturii, cum este cazul la metale, sau să scadă, cum este cazul la electroliţi sau la cărbune, sau să rămână practic constantă, cum este cazul la aliaje ca constantan sau manganin.

Numim coeficient de temperatură (α), cantitatea cu care se măreşte rezistenţa unui conductor, care are rezistenţa de 1 Ω, când i se ridică temperatura cu 1^0C.

Dacă la temperatura iniţială t_1, conductorul are rezistenţa r_1, când temperatura creşte devenind t_2, atunci şi rezistenţa se va mări devenind t_2.

Creşterea rezistenţei va fi:

$$r_2 - r_1 = \alpha r_1 (t_2 - t_1); \text{ de unde: } r_2 = r_1 + \alpha r_1 (t_2 - t_1)$$

$$r_2 = r_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \qquad (8);$$

Aplicaţii

1. Să se calculeze rezistenţa unui fir de cupru de 2 km având secţiunea de 10 mm² (temperatura constantă de 20^0C)

$$\rho = 0{,}0175$$

$$R = \rho \frac{l}{s} = 0{,}0175 \times \frac{2\,000}{10} = 3{,}5\ \Omega$$

2. Câţi metri de constantan trebue pentru o rezistenţă de 6 Ω, ştiind că secţiunea firului este de 1,5 mm²? ($\rho = 0{,}49$; temperatura constantă de 20^0C).

$$l = \frac{R \times s}{\rho} = \frac{6 \times 1{,}5}{0{,}49} = \frac{9}{0{,}49} = 18{,}33\ \text{m}$$

3. Ce secţiune are rezistenţa unui fier de călcat de 24 Ω de nicrom, lungă de 6 m? ($\rho = 0{,}98$)

$$s = \rho \frac{l}{r} = 0{,}98 \frac{6}{24} = 0{,}245\ \text{mm}^2$$

4. Ce lungime de sârmă de oţel cu diametrul de 2 mm trebue pentru ca să obţinem o rezistenţă de 1 Ω?

Scanned with OKEN Scanner

$$s = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 2^2}{4} = 3{,}14 \text{ mm}^2$$

$$l = \frac{R \times s}{\rho} = \frac{1 \times 3{,}14}{0{,}13} = 24{,}26 \text{ m}$$

5. Din ce material este făcut un fir cu o rezistenţă de 7,8 Ω, dacă are o secţiune de 1,5 mm² şi o lungime de 9 m ?

$$\rho = \frac{R \times s}{l} = \frac{7{,}8 \times 1{,}5}{9} = 1{,}3 \qquad \rho = 1{,}3 \text{ pentru crom}$$

6. Să se calculeze rezistenţa conductelor electrice dela o reţea aeriană, având secţiunea de 6 mm², lungimea (simplă) de 600 m, la temperaturile de +20° şi −20°.

a) La temperatura de +20°, rezistenţa va fi:

$$r_1 = \rho \frac{l}{s} = 0{,}0175 \times \frac{2 \times 600}{6} = 3{,}5\ \Omega$$

b) La temperatura de −20°, rezistenţa va fi:

$$r_2 = r_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] = 3{,}5 [1 + 0{,}004 (-40)] = 3{,}5 \times 0{,}84 = 2{,}94\ \Omega.$$

Formula (8) ne dă posibilitatea să determinăm temperatura finală t_2 a conductorului, când se cunoaşte r_2, r_1, şi t_1; astfel se calculează temperatura înfăşurărilor dela maşinile şi aparatele electrice.

7. Rezistenţa înfăşurării de cupru a unei maşini la 0° este de 250 Ω; după ce maşina funcţionează un timp dat şi se încălzeşte, măsurând temperatura, găsim 65°; care este rezistenţa conductorului la această temperatură?

$$R_{65^\circ} = 250 [1 + 0{,}004 (65\text{-}20)] = 250 \times 1{,}2 = 300\ \Omega$$

8. Rezistenţa înfăşurării unui electromagnet când nu funcţionează este de 50 Ω; dacă îl punem sub tensiune timp de 6 ore, rezistenţa lui devine 58 Ω; care este temperatura înfăşurării?

$$r_2 = r_1 + r_1 \times \alpha \times t; \qquad t = \frac{r_2 - r_1}{r_1 \alpha} = \frac{58 - 50}{50 \times 0{,}004} = 40^\circ$$

t = diferenţa de temperatură peste 20°; deci temperatura conductorului va fi 20 + 40 = 60°.

9. Din ce este făcut conductorul care are la 20° o rezistenţă de 16 Ω, iar la 75° are 20,8 Ω?

$$\alpha = \frac{r_2 - r_1}{r_1 \times t} = \frac{20{,}8 - 16}{16 \times 75} = 0{,}004$$

deci cupru.

Scanned with OKEN Scanner

10. Rezistența unei înfășurări de cupru este de 52 Ω, la temperatura de 69°; care va fi rezistența înfășurării la temperatura de 20°?

$$r_1 = \frac{r_2}{1 + \alpha (t_2 - t_1)} = \frac{52}{1 + 0{,}004 \times 49} = 43{,}4\ \Omega.$$

11. Un motor electric are înainte de trecerea curentului (la 20°C), o rezistență de 150 Ω. Care este rezistența după funcționarea motorului, știind că temperatura lui este acum 70°C? Conductorul prin care trece curentul este din cupru cu un coeficient de temperatură $\alpha = 0{,}004$.

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t - 20^0)] = 150 [1 + 0{,}004 (70 - 20)]$$

$$= 150 (1 + 0{,}004 \times 50) = 150 (1 + 0{,}2) = 150 \times 1{,}2 = 180$$

$$R_t = 180\ \Omega$$

16. Rezistența electrică a corpurilor lichide

La lichide și la corpurile izolante, rezistența specifică se măsoară pentru 1 cm lungime și 1 cm² secțiune *(fig. 10.)*

Unele soluțiuni de acizi și săruri în apă conduc destul de bine curentul electric. Pentru ca să calculăm valoarea unei rezistențe lichide, se consideră aceasta ca un conductor de o lungime egală cu distanța dintre cele două plăci (electrozi) de contact, iar secțiunea sa depinde de suprafața de contact a plăcilor cu lichidul, de ex. pentru două plăci paralele, secțiunea conductorului este egală cu suprafața introdusă în lichid, față în față. Cum la rezistențele lichide valoarea suprafețelor este mai mare, iar a lungimilor, mai mică decât la conductoarele metalice, este convenabil să măsurăm lungimea l în cm și secțiunea S în cm².

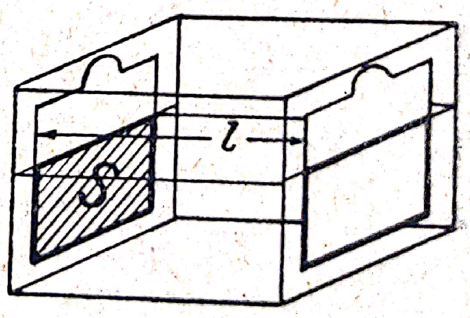


Fig. 10. Rezistența specifică a corpurilor lichide.

Valoarea rezistențelor specifice pentru diferite soluțiuni măsurate pentru 1 cm lungime și 1 cm² secțiune, se iau din tabela 2.

Scanned with OKEN Scanner

Tabela 2

Rezistențele specifice la 10° a unor soluții apoase

Concentr. sol. în procente de greutate %	Sulfat de cupru	Sulfat de zinc	Carbonat de sodiu	Clorură de sodiu	Clorură de amoniu	Acid sulfuric	Acid azotic	Acid clorhidric	Hidrat de potasiu
5	52,9	52,2	22,2	14,9	10,9	4,79	3,88	2,53	5,81
10	31,3	31,2	14,3	8,26	5,64	2,55	2,17	1,50	3,18
11	23,8	24,1	12,0	6,1	3,87	1,84	1,63	1,34	2,35
20	—	21,3	—	5,1	2,98	1,53	1,41	1,31	2,00
25	—	20,8	—	4,67	2,48	1,40	1,30	1,38	1,85
30	—	22,7	—	—	—	1,35	1,27	1,50	1,85
35	—	—	—	—	—	1,38	1,30	1,69	1,97
40	—	—	—	—	—	1,47	1,36	1,34	2,24
50	—	—	—	—	—	1,85	1,59	—	—
60	—	—	—	—	—	2,68	1,95	—	—
70	—	—	—	—	—	4,63	2,55	—	—
80	—	—	—	—	—	9,01	3,75	—	—
minimum	—	20,8	—	—	—	1,35	1,27	1,3	1,84
la	—	23,5%	—	—	—	30%	30%	18%	28%

Rezistența conductoarelor lichide descrește în general cu cât temperatura crește, și anume cu cca $2^0/_0$ pentru fiecare grad. De ex., pentru soluția de acid sulfuric întrebuințată la acumulatoare, rezistența scade cu $1,4^0/_0$ de fiecare grad de creștere a temperaturii.

17. Rezistența electrică a corpului omenesc

Prin corpul omenesc poate să treacă un curent electric după rezistența ce o prezintă și tensiunea electrică ce intervine. Valoarea rezistenței corpului omenesc este mare: de mii de ohmi (1000 — 10 000 Ω), totuși există pericol de moarte

pentru cei ce lucrează în instalații electrice, chiar la joasă tensiune.

Rezistența corpului omenesc este alcătuită din:

a) rezistența organelor interne,
b) rezistența pielei,
c) rezistența îmbrăcămintei,
d) rezistența de contact.

Rezistența organelor interne este aproape fixă și relativ mică; celelalte pot varia între limite foarte largi. Dacă pielea este umedă de sudoare, sau udă de apă, sau îmbrăcămintea jilavă, contactul între corp și firul conductor este bun și rezistența corpului va fi mică.

CAP. III. LEGEA LUI OHM

Prin legea lui Ohm se stabilește legătura dintre forța electromotoare (tensiune), rezistența circuitului și intensitatea curentului din circuit.

18. Experiență

Se realizează montarea din *fig. 11*, unde:
A este un ampermetru,
V este un voltmetru.

Intre bornele *a* și *b* se leagă o baterie de acumulatoare, iar între *c* și *d* diferite rezistențe electrice calibrate (de valoare cunoscută).

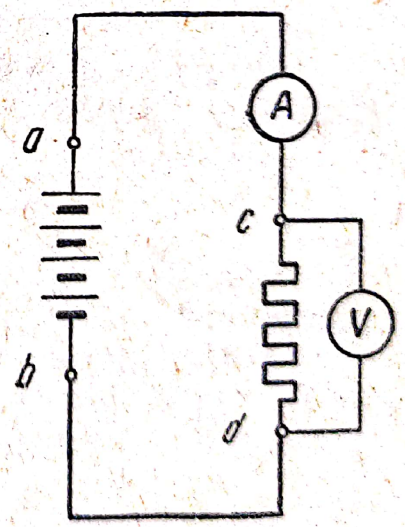


Fig. 11. Verificarea legii lui Ohm.

Sârmele care fac legătura între bornele *a* și *c*, respectiv *b* și *d*, trebue să fie groase, pentru a avea rezistență foarte mică (neglijabilă).

Experiența cuprinde două părți:

1. Montăm între *a* și *b* o baterie de acumulatoare, de ex. de 24 V, iar între *c* și *d* o rezistență de 2 Ω. Constatăm că ampermetrul ne arată un curent de 12 A. Dacă înlocuim rezistența cu una de 4 Ω, constatăm că ampermetrul indică 6 A. Dacă intercalăm o rezistență de 8 Ω, curentul va fi de 3 A.

Aceste rezultate sunt prezentate în tabela de mai jos:

E volți	R ohmi	I amperi
24	2	12
24	4	6
24	8	3

Se vede că pentru aceeași f. e. m., intensitatea curentului este invers proporțională cu valoarea rezistenței.

2. Lăsăm rezistența neschimbată, variem f. e. m., adică montăm între a și b baterii de acumulatoare cu număr diferit de elemente. Dacă luăm o rezistență $R = 2\ \Omega$ și o f. e. m. $E = 6$ V, intensitatea curentului va fi de 3 A.

Dacă schimbăm această f. e. m. respectiv cu 12 V și 24 V curentul măsurat cu ampermetrul din circuit este cel din tabela de mai jos.

E volți	R ohmi	I amperi
6	2	3
12	2	6
24	2	12

Se vede că pentru aceeași rezistență, intensitatea curentului este direct proporțională cu f. e. m.

19. Legea lui Ohm

Cele două constatări de mai sus pot fi contopite într'un singur enunț și anume:

Intr'un circuit, intensitatea curentului este proporțională cu f. e. m. și invers proporțională cu rezistența.

Aceasta este legea lui Ohm, care se exprimă prin formula:

$$I = \frac{E}{R}$$

în care:

I = intensitatea curentului în amperi,
E = forța electromotoare în volți,
R = rezistența electrică în ohmi.

Legea lui Ohm se mai poate scrie:

$$E = R \times I \text{ şi } R = \frac{E}{I}$$

Dacă, în loc de f. e. m. E, considerăm tensiunea U, măsurată în volţi la bornele c, d prin voltmetrul V, atunci în formulele de mai sus se înlocuieşte E prin U. Se obţin astfel relaţiile:

$$I = \frac{U}{R} \qquad U = R \times I \qquad R = \frac{U}{I}$$

Aplicaţii

1. O maşină electrică generatoare are o forţă electromotoare de 120 V şi trimite curent pe un circuit a cărui rezistenţă este de 2 Ω. Care este intensitatea curentului?

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120}{2} = 60 \text{ A}$$

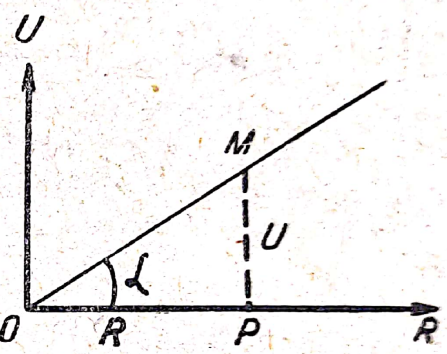


Fig. 12. Reprezentarea grafică a legii lui Ohm.

2. Un fir de cupru având secţiunea de 10 mm² şi o lungime de 1000 m este străbătut de un curent de 20 A. Care este valoarea tensiunii între extremităţile sale?

$$I = \frac{U}{R} \text{ deci } U = R \times I$$

$$R = \rho \frac{l}{s} = 0{,}017 \times \frac{1000}{10} = 1{,}7 \text{ Ω}$$

$$U = R \times I = 1{,}7 \times 20 = 34 \text{ V}$$

3. Un curent electric având intensitatea mai mare de 50 miliamperi în curent continuu, poate fi periculos omului. Să se găsească tensiunea care poate fi suportată de om, presupunând că rezistenţa sa electrică nu este mai mică de 1000 Ω, când atinge cu mâna o sârmă neizolată, aflată sub tensiune.

$$I = \frac{U}{R} \text{ ; } U = I \times R = 0{,}050 \times 1000 = 50 \text{ V}$$

Această tensiune de 50 V, în curent continuu, este considerată ca nepericuloasă pentru om, când are mâinile şi încălţămintea uscate.

Curentul alternativ industrial (50 perioade) este mult mai periculos şi intensitatea suportată de om este redusă la 25 miliamperi.

20. Rezistența interioară a unui generator de curent

Experiență:

Un generator de curent, fie el pilă sau mașină electrică, are o rezistență interioară.

Putem constata acest lucru astfel: într'un circuit electric, alimentat de o pilă, introducem un ampermetru, care ne va indica intensitatea curentului din circuit. Dacă depărtăm plăcile pilei între ele, constatăm că intensitatea curentului se micșorează. Dacă apropiem plăcile, intensitatea curentului se mărește. In ambele cazuri f. e. m. a pilei a rămas aceeași, așa că variația intensității curentului a fost cauzată numai de variația rezistenței. Cum rezistența firului exterior a rămas aceeași, înseamnă că există o rezistență în interiorul pilei, care s'a schimbat odată cu depărtarea și apropierea plăcilor.

Acest lucru se poate evidenția foarte bine prin legea lui Ohm în modul următor:

$$I = \frac{E}{R + R_i} \text{ unde}$$

I = intensitatea curentului din circuit,
E = f. e. m. a bateriei,
R = rezistența exterioară a circuitului,
R_i = rezistența interioară a generatorului.

Deoarece E și R rămâne constante, pentru ca să se modifice I trebue neapărat să se modifice R_i.

21. Căderea de tensiune și tensiunea la borne

Experiență:

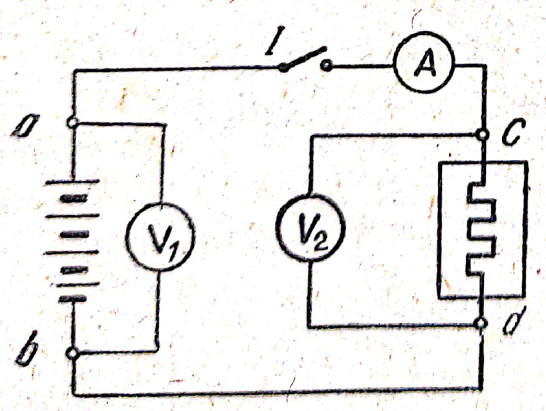


Fig. 13. Căderea de tensiune $V_1 - V_2$

Realizăm montajul din *fig. 13* alcătuit din:

1. o baterie de acumulatoare, cu un voltmetru V_1 la bornele a și b;

2. un radiator electric (o rezistență mare sau mai multe lămpi legate în serie) cu un voltmetru V_2 la borne c, d;

3. cele 2 fire de legătură între a și c respectiv d și b fiecare cu rezistența r, cu un ampermetru A.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă închidem întrerupătorul I observăm că radiatorul începe să dea căldură. Totodată se observă că indicaţiile celor 2 voltmetre V_1 şi V_2 sunt diferite. Putem citi valoarea I a curentului (indicaţia ampermetrului) şi se poate verifica următoarea relaţie :

$$V = V_1 - V_2 = 2\,r\,I$$

Acest termen se numeşte *cădere de tensiune* şi ne arată ce parte din tensiune se pierde pe linia de legătură între generator şi receptor. Dacă măsurăm cu aparatul numit ohmmetru [1]), rezistenţa R a radiatorului, se găseşte relaţia :

$$V_2 = R\,I$$

Aceasta este căderea de tensiune în rezistenţa radiatorului. Vedem că tensiunea la bornele radiatorului este egală cu căderea de tensiune din rezistenţa sa. Putem spune că tensiunea la bornele generatorului V_1 este echilibrată de căderea de tensiune pe linia de alimertare şi de căderea de tensiune V_2 din receptor, adică :

$$V_1 = V_2 + V.$$

După legea lui Ohm ştim că intensitatea curentului ce străbate receptorul este direct proporţională cu tensiunea la borne şi invers proporţională cu rezistenţa sa. Inseamnă că pentru ca tensiunea V_2 şi deci şi curentul să fie cât mai mare, trebue ca V (căderea de tensiune pe linia de alimentare) să fie cât mai mică.

In instalaţiile electrice căutăm să avem căderi de tensiune mai mici de 2-5% din tensiunea generatorului.

Deoarece şi generatoarele de curent au o rezistentă proprie r_i, înseamnează că şi în interiorul lor se produce o cădere de tensiune

$$v_i = r_i\,I$$

Dacă adăugăm la valoarea tensiunii V_1 la bornele generatorului, căderea de tensiune v_i din interiorul său, aflăm forţa electromotoare a generatorului.

Intr'adevăr : *forţa electromotoare a generatorului este aceea din care trebue să scădem toate căderile de tensiune din*

---

1) Ohmmetrul este un aparat cu care se poate măsura direct valoarea unei rezistenţe.

generatoi şi de pe linie, pentru a găsi valoarea tensiunii la bornele receptoarelor.

Lucrurile se prezintă la fel ca şi în cazul unei canalizaţii de apă. Pentru a găsi presiunea cu care curge apa, la un punct oarecare, trebue să scădem din valoarea presiunii cu care apa este pompată dela uzină, căderile de presiune de pe conductele prin care circulă apa dela uzină până la acel punct. Această cădere de presiune se datoreşte frecării apei de pereţii conductelor. La fel şi căderea de tensiune este datorită frecării electronilor, care se deplasează în conductorii electrici.

22. Scurt-circuitare. Siguranţe fuzibile

Se numeşte scurt-circuitare punerea în legătură a două fire (conducte) aflate sub tensiune electrică, fie în contact direct, fie printr'un corp de o rezistenţă foarte mică, aproape de zero. Curentul care se formează se numeşte curent de scurt-circuit, iar valoarea sa poate depăşi cu mult valorile admisibile.

Curenţii de scurt-circuit pot provoca deranjamente termice şi mecanice ale instalaţiilor electrice şi chiar distrugerea lor.

Efectele scurt-circuitului sunt:

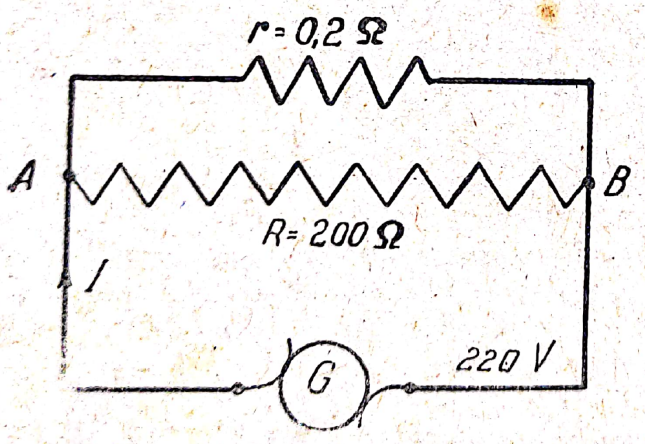


Fig. 14. Scurt-circuit.

a) deranjamente termice: încălzirea excesivă a firelor produce alungirea lor, deci slăbirea anormală a liniei, poate să topească conductorii etc.;

b) căderi de tensiune mari pe linii, ceea ce ar putea compromite exploatarea;

c) distrugerea sursei de alimentare şi a receptorilor, datorită efectelor termice şi mecanice.

In circuitul din *fig. 14* avem o rezistenţă de 200 Ω iar generatorul *G* dă 220 volţi. Curentul care circulă prin circuit este, după legea lui Ohm:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{200} = 1{,}1 \text{ A.}$$

Scanned with OKEN Scanner

Dacă punctele A și B le legăm printr'o rezistență foarte mică r *(fig. 14)* de 0,2 Ω, curentul din circuit, de data asta va fi :

$$I = \frac{U}{r} = \frac{220}{0{,}2} = 1100 \text{ A.}$$

Se vede că la o rezistență foarte mică avem un curent foarte mare ; numim aceasta un scurt-circuit. Acest curent de scurt-circuit este așa de mare că poate să înroșească firul, sau să-l și topească și, dacă sunt lucruri inflamabile prin apropiere, poate să dea naștere la incendii, în afară de alte turburări în firele aducătoare de curent și chiar asupra generatorului.

Pentru protejarea instalațiilor contra curenților prea puternici, în circuit se montează siguranțe fuzibile, adică bucăți de sârmă care să se topească când intensitatea curentului devine periculoasă. Astfel, circuitul respectiv se întrerupe (vezi § 37).

23. Reostate

Există multe cazuri în tehnică unde avem nevoie să variem intensitatea curentului din circuit, cum ar fi de ex. la pornirea motoarelor electrice, la iluminat, în teatru, în laboratoare pentru diferite experiențe, etc. In aceste cazuri variația intensității curentului se face prin variația rezistenței din circuit.

Aparatele numite *reostate* sunt niște rezistențe variabile care ne dau posibilitatea să mărim sau să micșorăm intensitatea din circuit.

Variația rezistenței în reostate se face prin modificarea lungimii firului. Acest lucru se poate vedea din formula rezistenței :

$$R = \rho \times \frac{l}{s}$$

Dacă variem lungimea firului l, va varia și rezistența R (în cazul că rezistivitatea ρ și secțiunea s rămân neschimbate).

Avem diferite tipuri de reostate, după modul cum se execută modificarea lungimii firului din interiorul lor, eventual și schimbarea secțiunii firului.

Scanned with OKEN Scanner

a) Reostatul cu cursor

Este format dintr'un fir înfășurat pe un cilindru izolat după cum se vede în *fig. 15* și *16*. Un capăt al firului este legat la borna *M* iar celălalt capăt la borna *N*. Când cursorul

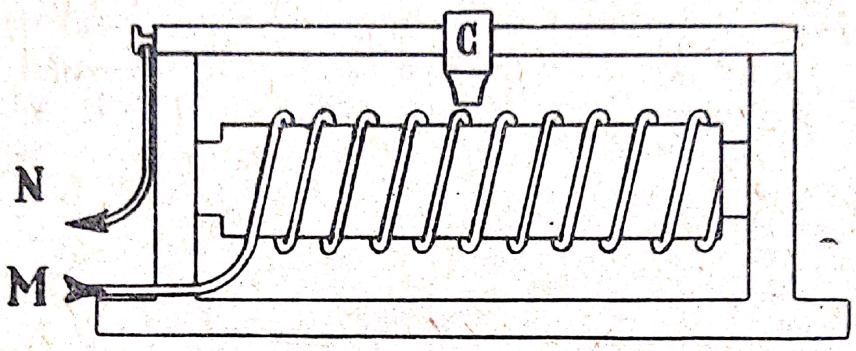


Fig. 15. Reostat cu cursor.

C se deplasează, la stânga, rezistența reostatului se micșorează, deoarece se introduce în circuit o lungime din ce în ce mai mică de fir.

Când cursorul *C* se deplasează la dreapta, rezistența reostatului ce mărește, pentrucă lungimea firului se mărește și ea.

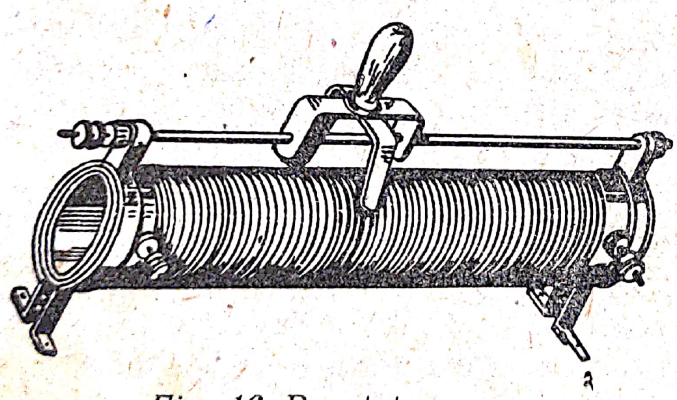


Fig. 16. Reostat cu cursor.

b) Reostatul cu manetă

Este format din mai multe fire legate la niște ploturi metalice *a, b, c, d, e,* peste care alunecă maneta *M* ce se învârtește în jurul centrului *O (fig. 17 și 18)*. Curentul intră prin *A* și iese prin *B*. Când maneta este în *a*, reostatul nu introduce nicio rezistență în circuit. Când maneta este în *b*, reostatul introduce în circuit rezistența R_1. Când este în *c*, introduce rezistențele R_2 și R_1 și în *d* introduce rezistențele R_3, R_2 și R_1.

Când este în *e*, reostatul este scos din circuit și curentul este întrerupt.

c) Reostatul cu lămpi electrice

Este format din mai multe lămpi electrice montate în paralel. Cu cât se introduc mai multe becuri în circuit, cu atât rezistența reostatului este mai mică.

d) Reostatul cu rezistență lichidă

Se compune dintr'un vas cu o soluție în care se introduc două lame de fier ce se leagă în circuit. Când cufundăm lamele, rezistența se micșorează, deoarece mărim secțiunea rezistenței lichide. La partea inferioară se află o bară metalică care pune reostatul în scurt circuit când lamele ajung la fund.

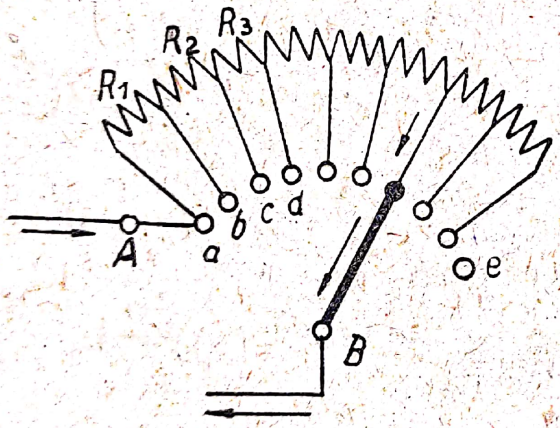


Fig. 17. Reostat cu manetă.

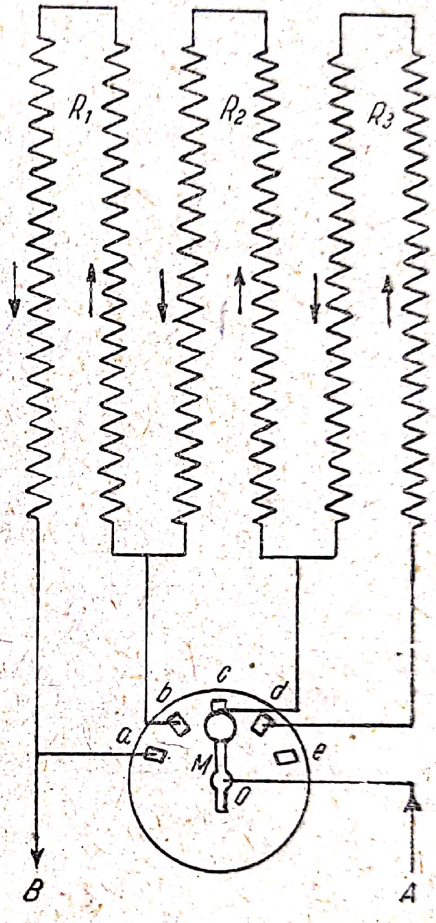


Fig. 18. Reostat cu manetă

24. Diferite feluri de rezistențe electrice folosite în practică

Rezistențe solide: firele din interiorul încălzitoarelor electrice, din fieruri electrice de călcat, etc., filamentele becurilor electrice; apoi prezintă rezistență electrică și bobinajele din interiorul electromagneților, din interiorul transformatoarelor și mașinilor electrice, firele pe care se transportă curentul electric, corpul omenesc, pământul.

Rezistențe lichide: reostatele lichide, electroliții din pilele electrice, etc.

Scanned with OKEN Scanner

Gazele, cu cât moleculele lor sunt mai ionizate, devin mai puțin rezistente la curentul electric (au rezistența mai mică).

Izolanții sunt corpuri rele conducătoare de electricitate, care se opun la trecerea curentului, având o rezistență electrică foarte mare.

Izolanți perfecți nu există, deoarece oricare izolant lasă să treacă prin el un curent oarecare. Un izolant este cu atât mai bun cu cât rezistența lui electrică este mai mare.

CAP. IV. LEGILE LUI KIRCHHOFF

In capitolele precedente ne-am ocupat numai de cazul unui circuit simplu, adică un circuit în care avem ramificații și în care circulă un singur curent. In practică se întâlnesc și circuite electrice mai complicate, cuprinzând mai multe ramificații, deci mai mulți curenți.

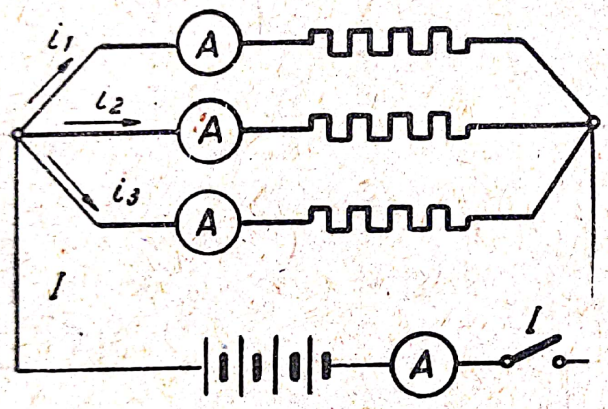


Fig. 19. Stabilirea legii I a lui Kirchhoff.

In acest caz, în locul legii lui Ohm se aplică legile lui Kirchhoff, care constitue o generalizare a legii lui Ohm, pentru circuite complexe.

25. Experiență

Fie circuitul din fig. 19 alcătuit din:
1. trei rezistențe legate în paralel,
2. patru ampermetre,
3. o baterie de acumulatoare.

Dacă se închide întrerupătorul *I* se constată că avem:

$$I = i_1 + i_2 + i_3$$

Prima lege a lui Kirchhoff se referă la intensitatea curenților dintr'un punct de ramificație a circuitelor — punct numit *nod electric* și pe scurt nod.

Această lege se aplică la curenții care intră și ies dintr'un nod.

Scanned with OKEN Scanner

26. Legea I a lui Kirchhoff

Suma curenţilor care intră într'un nod este egală cu suma curenţilor care ies din acel nod.

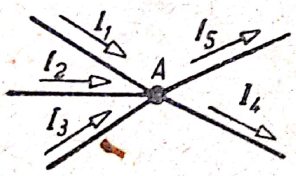


Fig. 20. Nod de curenţi.

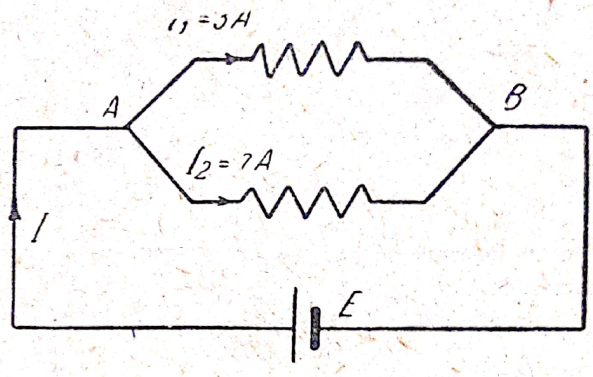


Fig. 21 a. Circuit cu două rezistenţe în derivaţie

Considerăm nodul *A (fig. 20)* în care intră curenţii I_1, I_2 şi I_3 şi ies curenţii I_4 şi I_5. După legea I a lui Kirchhoff putem scrie:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

Suma curenţilor care intră — Suma curenţilor care ies

Deoarece în circuit nu avem nici acumulări şi nici pierderi de electricitate, înseamnă că toată cantitatea de electricitate care intră în nod trebue să şi iasă din el, ceea ce exprimă tocmai prima lege a lui Kirchhoff: suma curenţilor care intră în nod trebue să fie egală cu suma curenţilor care ies din acel nod.

Aplicaţii

1. Se dă circuitul din *fig. 21 a*: să se calculeze curentul *I*,

Rezolvare: scriem legea I a lui Kirchoff pentru nodul *A*:

$$I = I_1 + I_2 = 3 + 7 = 10\,\text{A}.$$

Pentru verificare scriem această lege şi pentru nodul *B*:
Trebue ca $I_1 + I_2$ să ne dea curentul *I*.

$I_1 + I_2 = I$ sau $I = 3 + 7 = 10$ A, deci se verifică.

2. Să se calculeze curentul I al circuitului din *fig. 21 b.*

Rezolvare : aplicăm legea I a lui Kirchhoff pentru nodul A.

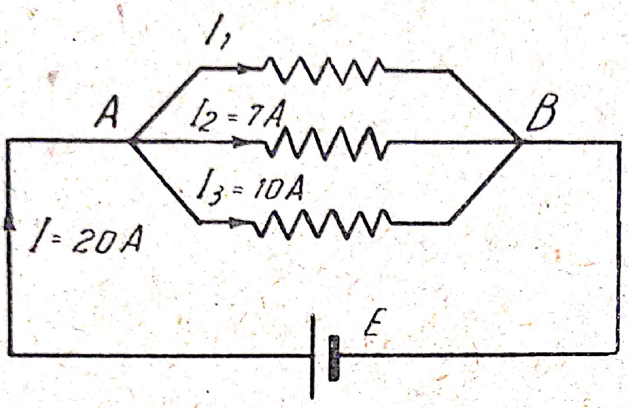


Fig. 21 b. Circuit cu 3 rezistenţe în derivaţie.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \text{ de unde :}$$

$$I_1 = I - I_2 - I_3$$

$$I_1 = 20 - 7 - 10 = 3\ \text{A}$$

Legea II a lui Kirchhoff

Intr'un circuit închis suma forţelor electromotoare este egală cu suma căderilor de tensiune.

Când într'un circuit avem mai multe surse de energie electrică, legate în serie, putem avea două cazuri :

a) Sursele imprimă electronilor acelaşi sens de mişcare, adică ele se leagă astfel: polul pozitiv al uneia din ele cu polul negativ al celeilalte cum este cazul în experienţa arătată în *fig.* 22.

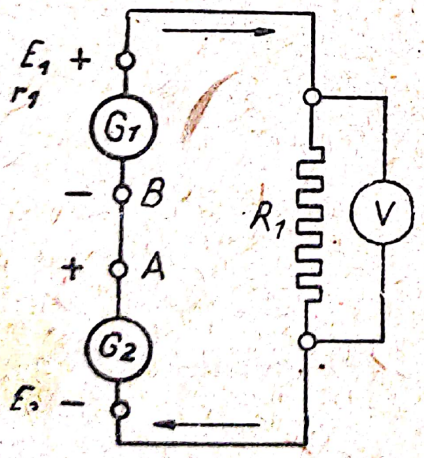


Fig. 22. Surse care imprimă electronilor acelaşi sens de mişcare.

Dacă măsurăm tensiunea între punctele A-B găsim că ea este egală cu suma celor două tensiuni ale surselor adică :

$$E_{AB} = E_1 + E_2$$

Intensitatea curentului este dată de legea lui Ohm.

$$I = \frac{E_{AB}}{r_1 + r_2 + R_1}$$

b) Sursele sunt legate în opoziţie adică : f. e. m. a uneia din surse imprimă electronilor un sens de mişcare contrar celui

imprimat de a doua sursă, așa cum este cazul la experiența arătată în *fig. 23.*

Când $E = E_1$; $I = 0$; voltmetrul V va arăta tensiunea $= 0$

$$(R \times I = 0)$$

Dacă $E > E_1$, va circula un curent în sensul dat de E

$$I = \frac{E - E_1}{R_t}$$

R_t = rezistența circuitului.

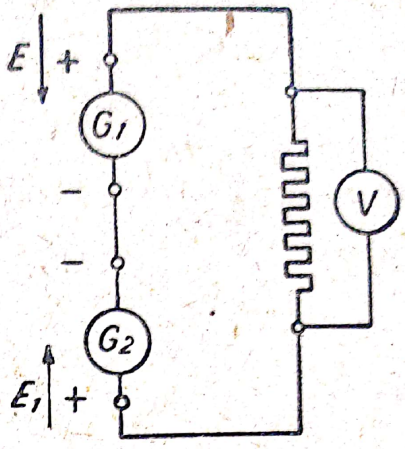


Fig. 23. Surse de energie legate în opoziție.

Rețelele electrice

Trebue să observăm că legea a II-a a lui Kirchhoff se aplică numai la circuite închise. In cazul circuitelor mai complexe, ca acelea din *fig. 24*, aplicarea legii a II-a a lui Kirchhoff trebue făcută cu deosebită grijă.

Astfel, se poate ca într'un circuit să avem și generatoare electrice care, prin modul cum sunt legate, sunt obligate să absoarbă curent electric, adică să devină receptoare. Când vom face suma forțelor electromotoare din acel circuit, vom introduce valoarea acestor generatoare cu semnul negativ. Astfel, în cazul rețelei electrice (ansamblul de circuite din *fig. 24*) avem:

1. Generatorul *I* având forța electromotoare E_1 și rezistența interioară r_1.

2. Generatorul *II* având forța electromotoare E_2 și rezistența interioară r_2.

3. Trei rezistențe electrice de valori R_1, R_2, R_3.

Aplicarea legii lui Kirchhoff se face astfel:

a) se dă un sens arbitrar curenților din circuite. Fie acest sens acela din fig. 24 (i_3 spre stânga i_1 și i_2 spre dreapta);

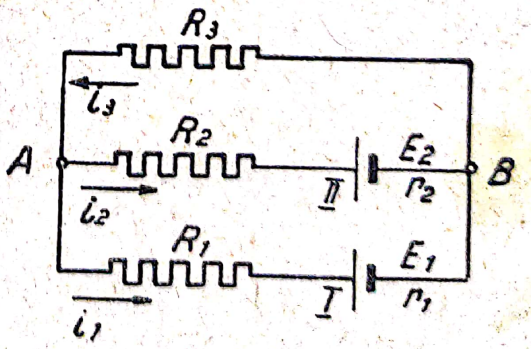


Fig. 24. Ansamblu de circuite.

b) se scrie legea I a lui Kirchhoff în noduri;
c) se scrie legea a II-a a lui Kirchhoff la circuite închise;

Legea I se poate scrie relativ la nodul A și B. Vedem însă, că cele două ecuații sunt identice; deci avem:

$$i_3 = i_1 + i_2 \qquad (1)$$

Legea a II-a se poate scrie relativ la 3 circuite și anume:

$E_1 R_1 A R_2 E_2 B E_1$; $E_1 R_1 A R_3 B E_1$; $E_2 R_2 A R_3 B E_2$. Obținem:

$$E_1 - E_2 = (r_1 + R_1)\, i_1 - (r_2 + R_2)\, i_2 \qquad (2)$$

$$E_1 = (r_1 + R_1)\, i_1 + R_3\, i_3 \qquad (3)$$

$$E_2 = (r_2 + R_2)\, i_2 + R_3\, I_3 \qquad (4)$$

Se vede că ecuația (2) se poate obține din scăderea ecuației (4) din ecuația (3). Insemnează că, în cazul rețelei noastre, avem numai 3 ecuații independente și anume de ex.: (1), (3), și (4) sau (1), (2) și (3), cealaltă fiind o consecință a celor trei. De altfel pentru rezolvarea problemei avem nevoie numai de trei ecuații, deoarece avem trei necunoscute: curenții i_1, i_2 și i_3.

La scrierea ecuațiilor (2), (3) și (4) am avut în vedere următoarele:

Urmărind circuitele în sens contrar acelor unui ceasornic, forța electromotoare care a fost străbătută dela polul negativ la polul pozitiv s'a introdus cu semnul plus (+) (de ex. E_1), iar cea străbătută dela polul pozitiv la cel negativ s'a introdus cu semnul minus (—) (de ex. E_2 în ecuația 2). Căderile de tensiune se introduc cu semnul plus (+) atunci când sensul curentului, presupus inițial, coincide cu acest sens de urmărire al circuitului (sensul contrar mișcării acelor unui ceasornic) și cu semnul minus (—) în caz contrar.

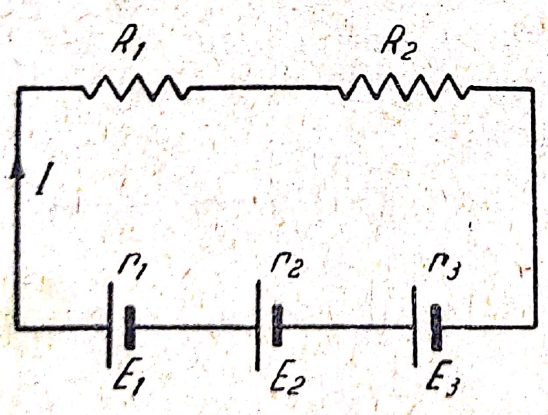


Fig. 24 a. Circuit cu rezistențele exterioare R_1, R_2 și rezistențele interioare r_1, r_2, r_3 legate în serie.

Problema se reduce mai departe la rezolvarea unui sistem de 3 ecuații cu 3 necunoscute.

Scanned with OKEN Scanner

Luăm circuitul din *fig. 24 a* în care avem rezistențele exterioare R_1 și R_2 și rezistențele interioare r_1, r_2 și r_3 ale pilelor și f. e. m. E_1, E_2, E_3. Deoarece rezistențele sunt legate în serie curentul este același în tot circuitul.

Căderea de tensiune în rezistența R_1 este produsul $R_1 \times I$, iar în rezistența R_2 este $R_2 \times I$. Suma căderilor de tensiune din circuitul exterior este: $R_1 \times I + R_2 \times I$.

Suma căderilor de tensiune din rezistențele interioare r_1, r_2, r_3 este:

$$r_1 \times I + r_2 \times I + r_3 \times I.$$

Suma totală a căderilor de tensiune în circuit este:

$$R_1 \times I + R_2 \times I + r_1 \times I + r_2 \times I + r_3 \times I.$$

Suma forțelor electromotoare este:

$$E_1 + E_2 + E_3$$

Legea II-a a lui Kirchhoff se va scrie asupra acestui circuit închis astfel:

$$E_1 + E_2 + E_3 = R_1 \times I + R_2 \times I + r_1 \times I + r_2 \times I + r_3 \times I$$

Aplicații

1. Să se afle forța electromotoare E a circuitului din *fig. 24 b*

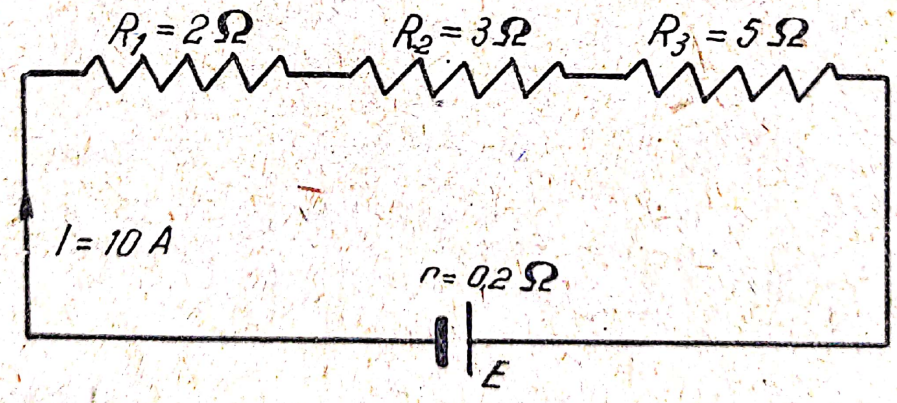


Fig. 24 b, Circuit cu rezistențele exterioare R_1, R_2 și R_3 și rezistența interioară r legate în serie.

Rezolvare:

Scriem legea a II-a a lui Kirchhoff pentru acest circuit:

$$E = R_1 \times I + R_2 \times I + R_3 \times I + r \times I$$

Scanned with OKEN Scanner

Rezistențele fiind legate în serie, prin toate va trece același curent I. Înlocuind valorile numerice, se obține:

$$E = 2 \times 10 + 3 \times 10 + 5 \times 10 + 0{,}2 \times 10 = 20 + 30 + 50 + 2 = 102$$

$$E = 102 \text{ V}.$$

2. Cât de mare trebue să fie rezistența R_1 pentru ca prin circuitul din *fig. 24 c* să circule un curent de 0,2 A?

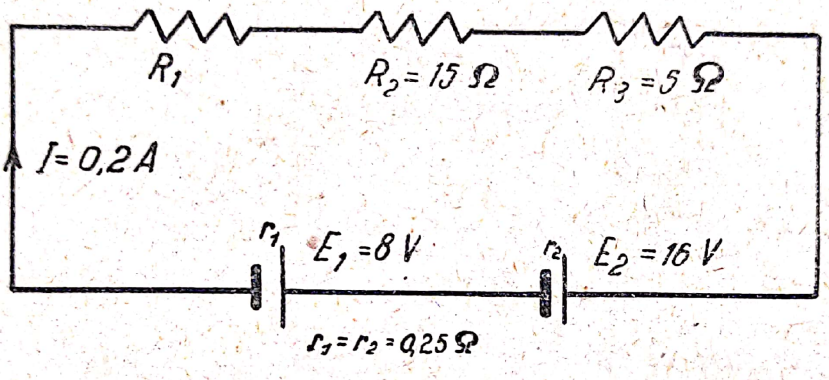


Fig. 24 c. Circuit cu rezistențele exterioare R_1, R_2, R_3 și rezistențele interioare r_1 și r_2 legate în serie.

Rezolvare.

Scriem legea a II-a a lui Kirchhoff pentru acest circuit.

$$E_1 + E_2 = R_1 \times I + R_2 \times I + R_3 \times I + r_1 I + r_2 I$$

$$R_1 \times I = E_1 + E_2 - R_2 \times I - R_3 \times I - r_1 I - r_2 I$$

$$R_1 \times 0{,}2 = 8 + 16 - 15 \times 0{,}2 - 5 \times 0{,}2 - 0{,}25 \times 0{,}2 - 0{,}25 \times 0{,}2$$

$$R_1 \times 0{,}2 = 19{,}9$$

$$R_1 = \frac{19{,}9}{0{,}2} = 99{,}5\ \Omega$$

29. Aplicații industriale: Potențiometre, rezistențe, adiționale, legarea ampermetrelor și voltmetrelor, shuntul, puntea Wheatstone

Potențiometrele sunt aparatele cu care se pot obține diferențe de potențial (divizoare de tensiune), în anumite limite.

Legăm în paralel cu o baterie de pile B o rezistenţă R *(fig. 25)* pe care poate aluneca un cursor.

Tensiunea V între cursor şi unul din capetele bateriei poate varia dela 0 la V sau între $-\frac{V}{2}$ şi $+\frac{V}{2}$ când cursorul este legat la jumătatea bateriei.

Aplicaţiile potenţiometrului sunt foarte dese în radio.

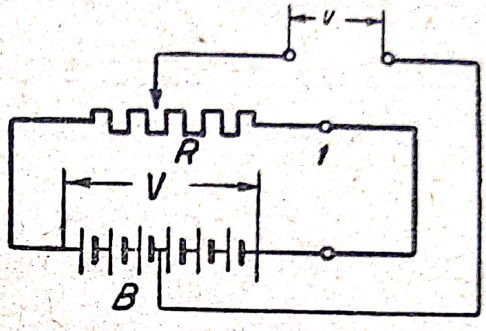


Fig. 25. Potenţiometru

Rezistenţele adiţionale sunt nişte rezistenţe, care se montează în serie cu un aparat pentru măsurarea tensiunii, când vrem să măsurăm cu acest aparat tensiuni mai mari decât suportă.

Vrem să măsurăm tensiunea $U = R \times I$ la bornele rezistenţei R cu un voltmetru V care nu suportă această tensiune. Pentru aceasta montăm, în serie cu voltmetrul V, o rezistenţă adiţională R_{ad} *(fig. 26 a)*. In această rezistenţă se produce o cădere de tensiune, astfel că la bornele aparatului vom avea o tensiune mai mică.

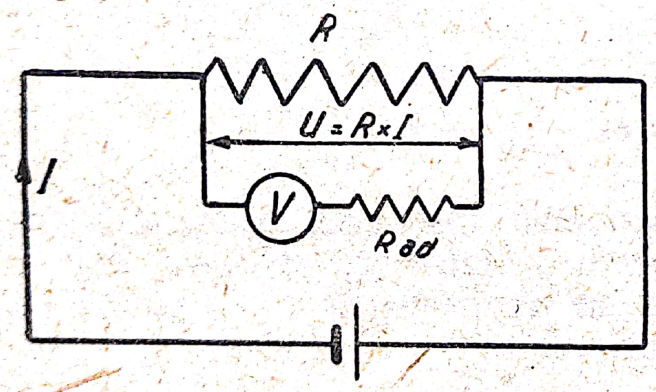


Fig. 26 a. Măsurarea tensiunii la bornele unei rezistenţe R cu un voltmetru cu rezistenţă adiţională.

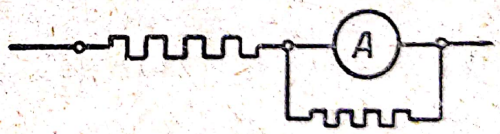


Fig. 26 b. Shuntul

Shuntul. Când avem de măsurat intensităţi de curent mai mari decât poate suporta un ampermetru, se întrebuinţează rezistenţe cunoscute legate în paralel cu ampermetrul, în scopul de a devia o parte din curent *(fig. 26 b)*.

Aceste rezistenţe cunoscute, legate în paralel cu aparatul respectiv, se numesc *shunturi*.

Legarea ampermetrelor și voltmetrelor. Legarea ampermetrelor se face în serie (eventual cu un shunt în derivație, *fig. 27*) iar voltmetrele se montează în derivație *(fig. 28)*.

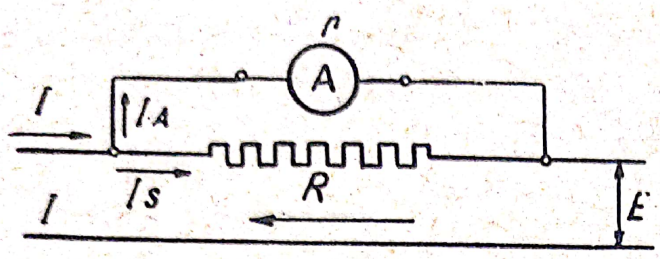


Fig. 27. Legarea ampermetrului într'un circuit.

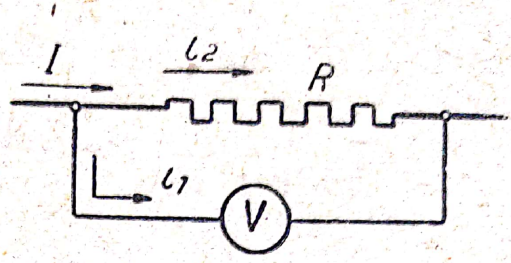


Fig. 28. Legarea voltmetrului într'un circuit.

Exemplul I. Cu un ampermetru cu care se pot măsura intensități de curent până la 1 amper, vrem să măsurăm o intensitate de curent de 10 amperi. Ce rezistență R trebue să legăm în paralel cu ampermetrul, știind că el are o rezistență r de 0,45 Ω *(fig. 27)*.

$$I_A \times r = I_s \times R \qquad \frac{I_A}{I_s} = \frac{R}{r}$$

R = rezistența shuntului, r rezistența ampermetrului.

$$R = r\,\frac{I_A}{I_s}; \qquad I_s = I - I_A$$

$$R = r\,\frac{I_A}{I - I_A} = 0{,}45\,\frac{1}{10-1} = 0{,}05\ \Omega.$$

Deci a shunta un ampermetru înseamnă a lega capetele ampermetrului în paralel cu o rezistență calculată în așa fel, încât prin ampermetru să nu treacă decât o porțiune bine determinată din curentul principal.

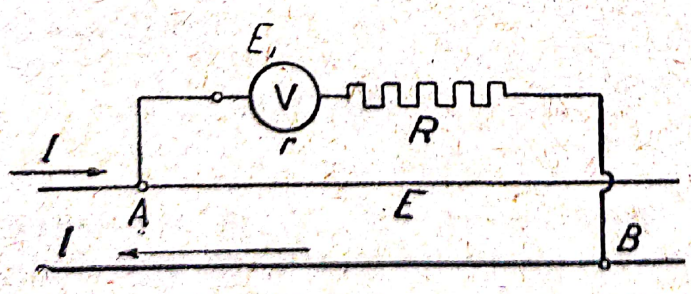


Fig. 29. Măsurarea unei tensiuni de 380 V cu un voltmetru de 120 V

Exemplul II. Cu un voltmetru de 120 volți vrem să măsurăm o tensiune de 320 volți. Ce rezistență legăm în serie cu voltmetrul dacă rezistența lui este de 10.000 ohmi?

Voltmetrul se leagă la cele 2 puncte, a căror diferență de potențial vrem să o măsurăm.

Dacă E_1 = tensiunea maximă pe care o poate măsura voltmetrul și E = tensiunea de măsurat, care este un multiplu al lui E_1, adică $E = n\,E_1$,

va trebui să legăm în serie cu el o rezistenţă R, astfel ca prin el să treacă acelaşi curent maxim,

Să calculăm rezistenţa R, ştiind că rezistenţa voltmetrului este r.

$$I = \frac{E_1}{r} = \frac{E}{r+R} = \frac{nE_1}{r+R}$$

$$E_1 (r + R) = r n E_1$$

$$r + R = n r$$

$$R = n r - r = r (n-1)$$

In cazul problemei:

$$n = \frac{380}{120}; \quad r = 10\,000 \text{ ohmi}$$

$$R = 10\,000 \left(\frac{380}{120} - 1\right) = 10\,000 \times 2{,}17 = 21\,700 \text{ ohmi.}$$

Deci, când vrem să măsurăm tensiuni mai mari decât cele pentru care sunt construite voltmetrele, se leagă în serie cu voltmetrul rezistenţe suplementare a căror valoare se determină ca mai sus.

Puntea lui Wheatstone. Pentru măsurarea rezistenţelor se întrebuinţează puntea lui Wheatstone *(fig. 30)*.

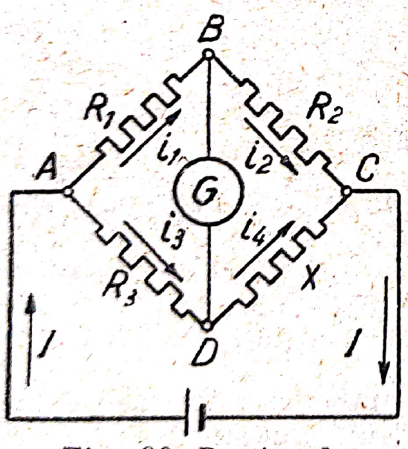


Fig. 30. Puntea lui Wheatstone.

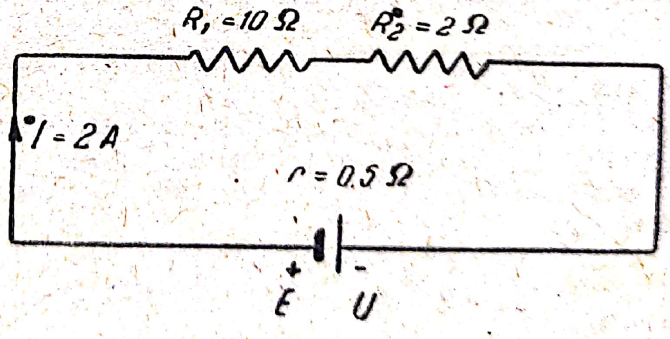


Fig. 30 a. Calculul lui E şi U.

Variem rezistenţa R_1 până când galvanometrul ne arată 0 (zero), adică pe ramura $B\,D$ nu va circula curent.

După legea a doua a lui Kirchhoff, în circuitul $A\,B\,D\,A$ avem:

$$i_1 R_1 - i_3 R_3 = 0; \quad i_1 R_1 = i_3 R_3$$

iar în circuitul $BCDB$:

$$i_2 R_2 - i_4 X = 0; \quad i_2 R_2 = X i_4$$

Când galvanometrul arată 0: $i_1 = i_2$ și $i_3 = i_4$ deci:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{X}; \quad X = R_3 \frac{R_2}{R_1}$$

Exerciții

1. Luăm ca exemplu circuitul din *fig. 30 a* în care vrem să aflăm f.e.m. E și tensiunea U la bornele pilei, cunoscând elementele de pe figură.

F.e.m. E o aflăm prin legea a doua a lui Kirchhoff. Ea este egală cu suma căderilor de tensiune din rezistențele exterioare plus căderea de tensiune din rezistența interioară.

$$E = R_1 \times I + R_2 \times I + r \times I = 10 \times 2 + 2 \times 2 + 0{,}5 \times 2 = \\ = 20 + 4 + 1 = 25 \text{ V}$$

Tensiunea la bornele pilei U este egală cu forța electromotoare a pilei E, din care se scade căderea de tensiune în rezistența interioară a pilei. Deci tensiunea la bornele pilei este mai mică decât f.e.m.

$$U = E - r \times 2 = 25 - 0{,}5 \times 2 = 24 \text{ V}$$

Tensiunea la bornele pilei este egală cu suma căderilor de tensiune din rezistențele exterioare (circuitul exterior).

Tensiunea la borne echilibrează căderile de tensiune din rezistențele exterioare.

$$U = R_1 \times I + R_2 \times I$$

Într'adevăr: $10 \times 2 + 2 \times 2 = 24$ V

2. Un generator de curent are o rezistență interioară de $r = 0{,}5\ \Omega$. Se întreabă cât de mare trebue să fie tensiunea U la borne și f. e. m, E a generatorului, pentru ca acesta să alimenteze un bec cu o rezistență a filamentului $R_1 = 540\ \Omega$ și un încălzitor cu o rezistență $R_2 = 10\ \Omega$. Becul și încălzitorul sunt legate în serie și prin ele vrem să treacă un curent de 0,2 A.

Rezolvare: știind că tensiunea la bornele generatorului trebue să fie egală cu căderile de tensiune din circuitul exterior, putem scrie

$$U = R_1 \times I \times R_2 \times I$$

$$U = 540 \times 0{,}2 + 10 \times 0{,}2 = 0{,}2\ (540 + 10) = 0{,}2 \times 550$$

$$U = 110 \text{ V}.$$

$$E = U + r \times I = 110 + 0{,}5 \times 0{,}2 = 110 + 0{,}1 = 110{,}1 \text{ V}$$

$$E = 110{,}1 \text{ V}$$

Scanned with OKEN Scanner

30. Calcularea curenţilor într'o ramificaţie

Să luăm ca exemplu ramificaţia din *fig. 30 b*, formată din două rezistenţe montate în paralel.

Tensiunea la bornele ramificaţiei U este 100 V, atât pentru ramura lui R_1, cât şi pentru ramura lui R_2.

Curentul I_1 este:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = 10 \text{ A}$$

Curentul I_2 este:

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{100}{20} = 5 \text{ A.}$$

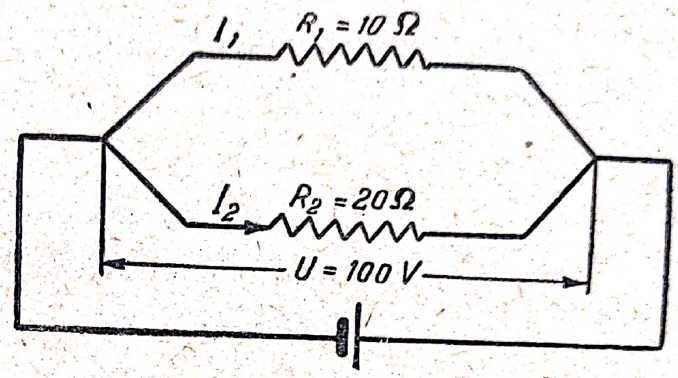


Fig. 30 b. Calculul curenţilor într'o ramificaţie.

Se vede că, cu cât rezistenţa pe o ramură este mai mare, cu atât curentul pe acea ramură este mai mic.

Înseamnă că într'o ramificaţie curenţii sunt invers proporţionali cu rezistenţele.

Exemplu practic:

3 becuri electrice cu rezistenţele $R_1 = 500\ \Omega$, $R_2 = 400\ \Omega$ şi $R_3 = 800\ \Omega$ sunt legate în paralel şi alimentate la tensiunea $U = 220$ V a unui generator de curent continuu *(fig. 30 c)*. Rezistenţa firului de alimentare al derivaţiei o considerăm neglijabilă.

Să se afle intensitatea curentului ce trece prin fiecare fir.

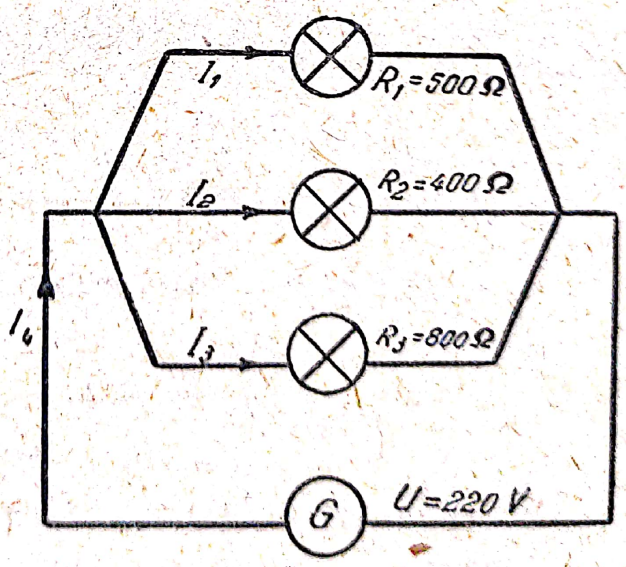


Fig. 30 c.

Rezolvare:

$$I_1 = \frac{220}{500} = 0{,}44 \text{ A;}$$

$$I_2 = \frac{220}{400} = 0{,}55 \text{ A;}$$

$$I_3 = \frac{220}{800} = 0{,}275 \text{ A}$$

$$I_4 = I_1 + I_2 + I_3 = 0{,}44 + 0{,}55 + 0{,}275 = 1{,}265 \text{ A.}$$

Scanned with OKEN Scanner

31. Legarea rezistenţelor

Intr'un circuit electric, când avem mai multe rezistenţe, acestea pot fi legate în trei feluri: în serie, în paralel (derivaţie) şi mixt.

A. Legarea rezistenţelor în serie

Legarea în serie a rezistenţelor înseamnă legarea lor una după alta. In acest caz intensitatea curentului este aceeaşi în toate rezistenţele.

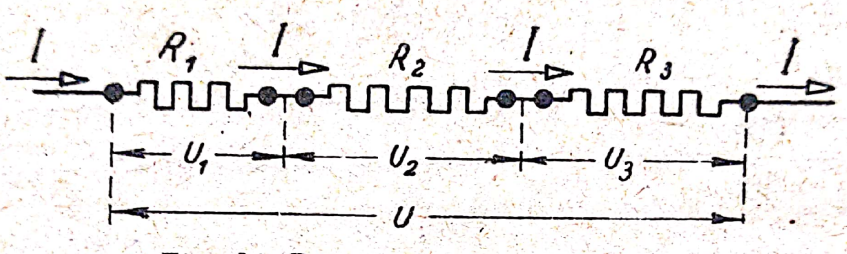


Fig. 31. Rezistenţe legate în serie.

In *fig. 31* avem trei rezistenţe legate în serie.

Rezistenţa totală R_t cu care putem înlocui cele trei rezistenţe este:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

Deci când avem mai multe rezistenţe legate în serie, rezistenţa totală este egală cu suma rezistenţelor simple.

Exemplu: Se dau rezistenţele legate în serie din *Fig. 31 a.* Să se afle rezistenţa totală R_t.

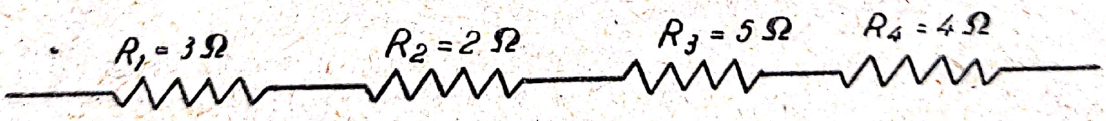


Fig. 31 a. Patru rezistenţe legate în serie.

Rezolvare:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 3 + 2 + 5 + 4 = 14$$

$$R_t = 14\ \Omega.$$

B. Legarea rezistenţelor în derivaţie (paralel)

Legarea în derivaţie se face unind un capăt al rezistenţelor într'un nod, iar celălalt capăt la alt nod. Curenţii se ramifică luând valori diferite pe fiecare ramură.

Scanned with OKEN Scanner

In fig. 32 avem două rezistenţe legate în derivaţie (paralel).

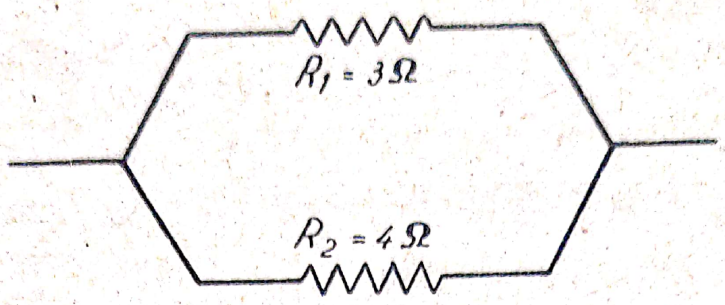


Fig. 32. Două rezistenţe legate în derivaţie.

Rezistenţa totală R_t cu care putem înlocui cele două rezistenţe se calculează după formule:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Exemplu: Se dau rezistenţele legate în paralel din *fig 32.* Să se afle rezistenţa totală R_t.

Rezolvare:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{4} = \frac{4}{12} + \frac{3}{12} = \frac{7}{12}$$

$$R_t = \frac{12}{7} = 1{,}71\ \Omega$$

Rezistenţa totală este: $R_t = 1{,}71\ \Omega$

Când avem mai multe rezistenţe legate în paralel, inversul rezistenţei totale este egal cu suma inverselor rezistenţelor simple.

Exemplu:

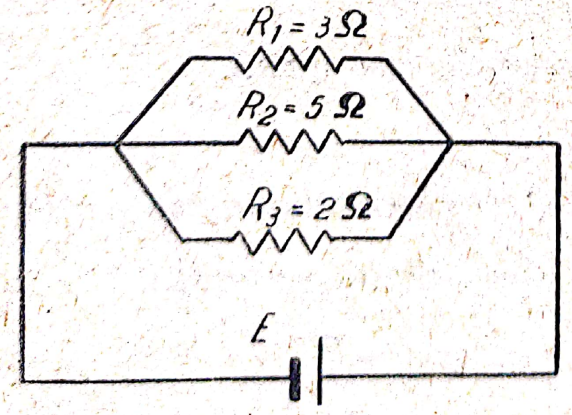


Fig. 33 a. Rezistenţe legate în paralel.

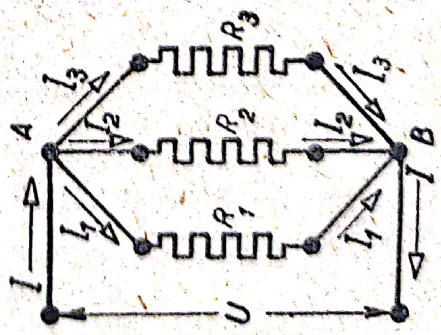


Fig. 33 b. Rezistenţe legate în paralel.

Scanned with OKEN Scanner

Se dau trei rezistenţe legate în paralel *(fig. 33 a şi b)*. Să se afle rezistenţa totală R_t.

Rezolvare :

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{2} = \frac{10}{30} + \frac{6}{30} + \frac{15}{30} = \frac{1}{R_t} = \frac{31}{30};$$

$$R_t = \frac{30}{31} = 0{,}967\ \Omega.$$

Din exemplele de mai sus se vede că rezistenţa totală, în cazul montajului în paralel, este mai mică decât fiecare rezistenţă în parte ; totul se petrece ca şi când s'ar mări secţiunea conductorului principal prin care se ramifică rezistenţa.

C. Legarea rezistenţelor în montaj mixt

Un montaj mixt este format din rezistenţe legate în serie şi în paralel. In cele ce urmează vom da câteva exemple.

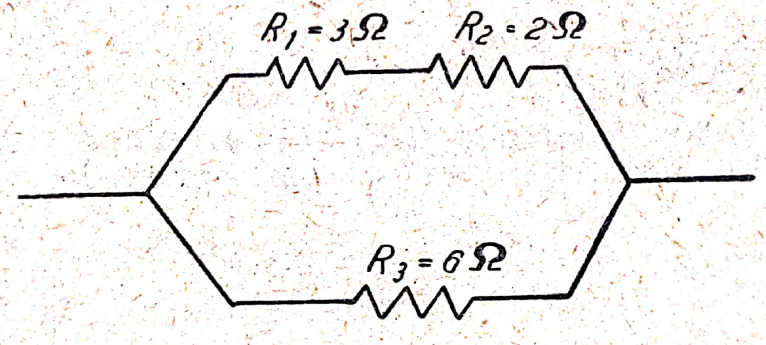


Fig. 34. Legarea rezistenţelor în montaj mixt.

1. Considerăm montajul din *fig. 34.*

Rezistenţele R_1 şi R_2 sunt legate în serie. Sistemul de rezistenţe format de R_1 şi R_2 este legat în paralel cu R_3.

Rezistenţa echivalentă (cu care putem înlocui) rezistenţele R_1 şi R_2 o notăm cu R.

$$R = R_1 + R_2 = 3 + 2 = 5\ \Omega$$

Montajul de mai sus îl putem înlocui acum cu unul mai simplu

Scanned with OKEN Scanner

(fig. 34 a) din care se vede că rezistența echivalentă R este legată în paralel cu R_3.

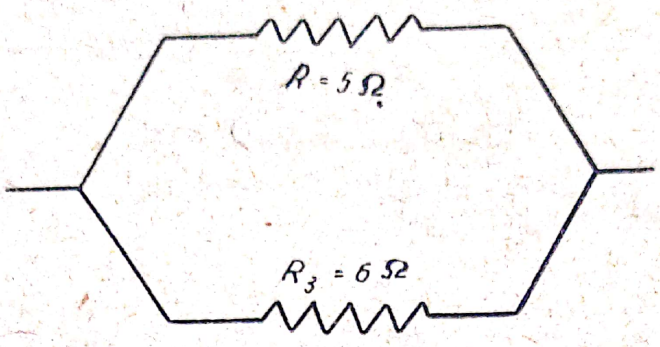


Fig. 34 a. Montaj simplu.

Rezistența totală R_t o aflăm astfel:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{5} + \frac{1}{6} = \frac{6}{30} + \frac{5}{30} = \frac{11}{30}$$

$$R_t = \frac{30}{11} = 2{,}72$$

$$R_t = 2{,}72\ \Omega.$$

Luăm montajul mixt din fig. 35. Rezistențele R_2 și R_3 sunt legate în paralel. Rezistența R_1 este legată în serie cu sistemul de rezistență R_2 și R_3.

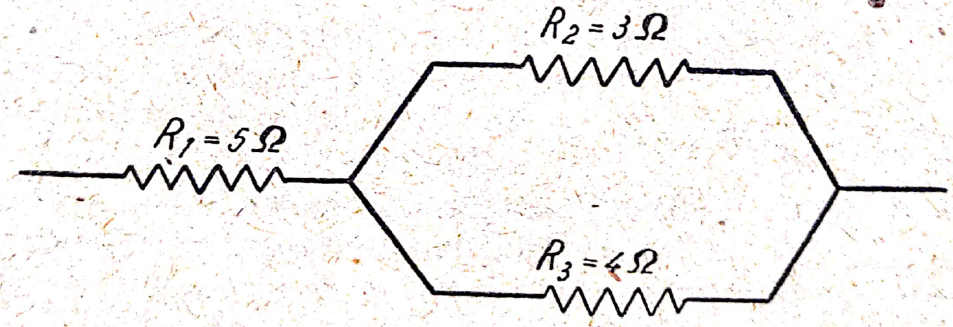


Fig. 35. Montaj mixt.

Rezistența echivalentă a lui R_2 și R_3, pe care o notăm cu R, se află astfel:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{4} = \frac{4}{12} + \frac{3}{12} = \frac{7}{12}$$

$$\frac{R}{1} = \frac{12}{7} = 1{,}71 \qquad R = 1{,}71\ \Omega.$$

Scanned with OKEN Scanner

Putem acum înlocui montajul de mai sus cu cel din *fig. 35 a*, în

Fig. 35 a. Montaj în serie.

care se vede că rezistența R_1 este legată în serie cu rezistența echivalentă R. Rezistența totală R_t este:

$$R_t = R_1 + R = 5 + 1{,}71 = 6{,}71$$

$$R_t = 6{,}71\ \Omega.$$

32. Legarea surselor de energie electrică

Când forța electromotoare a sursei de energie electrică este mai mică decât tensiunea necesară receptorului de energie, sau când puterea sursei de energie este mai mică decât puterea nominală a receptorilor, alimentarea acestora se face dela mai multe surse de energie, legate între ele în diferite moduri.

Elementele galvanice sau acumulatoarele a căror forță electromotoare nu depășește de obiceiu 2 — 2,5 V, se leagă în serie, adică minusul primului element cu plusul celui de-al doilea element etc., rămânând la bornele bateriei un plus și un minus, la aceste borne se leagă circuitul exterior (receptorii de energie).

A. Legarea în serie

Când legăm în serie două sau mai multe elemente *(fig. 36)* forța electromotoare a bateriei este egală cu suma forțelor electromotoare ale elementelor adică:

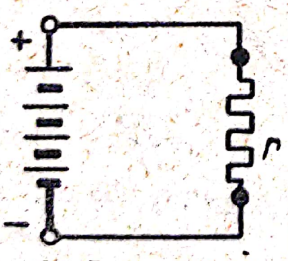


Fig. 36. Legarea surselor de energie electrică în serie.

$$E_b = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots$$

Dacă f. e. m. ale elementelor sunt egale, atunci f. e. m. a bateriei va fi:

$$E_b = n \times E$$

în care: E = f. e. m. a unui element;

n = numărul elementelor legate în serie.

Scanned with OKEN Scanner

Intensitatea curentului din circuitul exterior va fi:

$$I = \frac{E \times n}{r + r_i \times n} \qquad (24)$$

în care: r = rezistența circuitului exterior;
r_i = rezistența interioară a fiecărui element.

Diferența de potențial la bornele bateriei:

$$U = nE - r_i \times I \times n;\ U = n(E - r_i I) = n \times E - r_i \times \frac{nE}{r + r_i n}$$

$$U = nE - \frac{n^2 r_i E}{r + r_i n} = \frac{rnE + r_i n^2 E - n^2 r_i E}{r + r_i n}$$

$$U = n \frac{rE}{r + r_i n}$$

Legarea în serie a pilelor se face când avem nevoie de o tensiune mai mare.

Această legare este mai avantajoasă atunci când rezistența exterioară r este mai mare față de rezistența interioară a pilei r_i.

B. Legarea în derivație (paralel)

Elementele galvanice și acumulatoarele se leagă uneori în derivație (paralel). Generatoarele de curent continuu se leagă în derivație aproape totdeauna. In acest caz bornele pozitive ale tuturor generatoarelor sau elementelor, se leagă la un conductor al circuitului, iar bornele negative la celălalt conductor. La aceiași conductori se leagă și receptorii de energie *(fig. 37)*

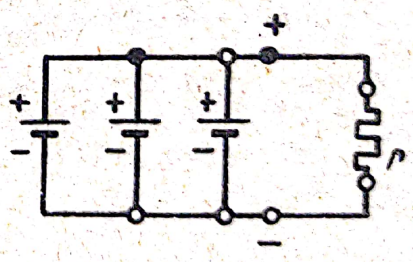


Fig. 37. Legarea în derivație.

Dacă forțele electromotoare ale fiecărei surse sunt egale, f. e. m. a bateriei este egală cu f. e. m. a fiecărui element.

Când rezistențele interioare ale elementelor sunt egale, curentul debitat de baterie în circuitul exterior va fi:

$$I = \frac{E}{r + \frac{r_i}{m}} \qquad (25)$$

în care m = numărul de elemente legate în paralel.

Curentul debitat de fiecare sursă sau element, (I_i) va fi de m ori mai mic decât intensitatea curentului debitat de către gruparea surselor, adică:

$$I_1 = \frac{I}{m}$$

Dacă forţele electromotoare ale elementelor sau ale generatoarelor nu sunt egale între ele, pentru aceleaşi rezistenţe interioare, curentul mai mare îl va debita elementul sau generatorul care are o f. e. m. mai mare.

Dacă f. e. m. sunt egale însă rezistenţele interioare diferite, curentul mai mare îl va debita elementul sau generatorul care are o rezistenţă interioară mai mică.

Când şi f. e. m. şi rezistenţele interioare nu sunt egale, stabilirea intensităţii curenţilor se face cu ajutorul legii lui Kirchhoff.

C. Legarea mixtă

Dacă numărul elementelor legate în serii este n, iar al ramurilor legate în paralel este m, iar f. e. m. E şi rezistenţele interioare r sunt egale, atunci avem:

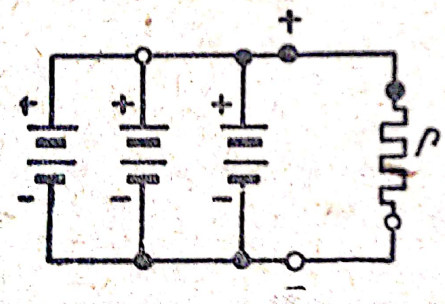


Fig. 38. Legarea mixtă a surselor de energie.

$$E_b = E \times n \qquad (26)$$

$$r_b = \frac{r_i\, n}{m} \qquad (27)$$

Curentul debitat de către baterie este:

$$I = \frac{E_b}{r + r_b} = \frac{n\, E}{r + \frac{n\, r_i}{m}}$$

Exerciţii

1. Dacă legăm 10 elemente, care au rezistenţa interioară de 1 Ω, în serie cu o rezistenţă de 50 Ω, de câte ori va creşte curentul faţă de cel dat de către o singură pilă?

$$E = 1{,}5 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{1{,}5}{1+50} = \frac{1{,}5}{51} = 0{,}029 \text{ A}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Cele 10 pile în serie dau:

$$I = \frac{n\,E}{r+n\,r} = \frac{10\times 1{,}5}{50+10} = \frac{15}{60} = 0{,}25 \text{ A},$$ deci curentul debitat de baterie este aproape de 10 ori mai mare decât cel debitat de către o pilă.

2. Considerăm aceleaşi n elemente legate în serie, cu o rezistenţă exterioară de 0,1 Ω:

Curentul debitat de către o pilă este:

$$I_1 = \frac{1{,}5}{0{,}1+1} = \frac{1{,}5}{1{,}1} = 1{,}36 \text{ A}$$

Cu cele 10 pile legate în serie, bateria va da:

$$I = \frac{10\times 1{,}5}{0{,}1+10} = \frac{15}{10{,}1} = 1{,}485 \text{ A},$$ nu mult diferit de 1,36 A.

Rezultă că pentru a obţine un curent mai mare, legarea în serie este recomandată când rezistenţa exterioară este mult mai mare decât cea interioară a pilei.

3. Aceleaşi elemente legate în paralel:

$r\,0$ = rezistenţa circuitului exterior = 100 Ω

$$I_1 = \frac{E}{r+r_0} = \frac{1{,}5}{101} = 0{,}0148 \text{ A}:$$

Cele 10 pile legate în paralel vor debita:

$$I = \frac{E}{\frac{r}{n}+r_0} = \frac{1{,}5}{100{,}1} = 0{,}015 \text{ A};$$ adică un curent aproape cât o pilă

Dacă rezistenţa exterioară este de 0,1 Ω, curentul dat de către pila va fi:

$$I_1 = \frac{1{,}5}{1{,}1} = 1{,}36 \text{ A}:$$

Curentul dat de 10 pile legate în paralel:

$$I = \frac{1{,}5}{\frac{1}{10}\times 0{,}1} = \frac{1{,}5}{0{,}2} = 7{,}5 \text{ A}$$ deci de 5.5 ori mai mare decât cel dat de către o pilă.

Rezultă că pentru obţinerea unui curent mai mare legarea în paralel este indicată, când rezistenţa exterioară este mai mică decât rezistenţa interioară a pilei.

Scanned with OKEN Scanner

CAP. V. PUTEREA ŞI ENERGIA ELECTRICĂ

33. Puterea şi energia mecanică

Dacă ridicăm 1 kg la înălţimea de 1 m zicem că am efectuat un *lucru mecanic* de 1 kilogrammetru. Unitatea de măsură a lucrului mecanic este kilogrammetrul (kgm).

Când ridicăm greutatea, se înmagazinează în ea o energie potenţială de 1 kgm. Când dăm drumul greutăţii, aceasta va cădea, eliberând energia înmagazinată pe care o transformă în energie cinetică (de mişcare).

Dacă ridicăm o greutate de 10 kg la înălţimea de 3 m, aceasta înmagazinează o energie potenţială de $10 \times 3 = 30$ kgm. Dacă dăm drumul greutăţii dela aceeaşi înălţime, energia acumulată se transformă în energie cinetică.

In cazurile de mai sus, atât energia acumulată cât şi cea cedată de corp se manifestă într'un anumit timp.

Dacă ridicăm greutatea de mai sus, numai în timp de o secundă sau ridicăm 10 kg la 3 m tot în timp de o secundă se spune că am efectuat o *putere mecanică*.

Unitatea de măsură a puterii mecanice este kilogrammetrul în timp de o secundă sau mai pe scurt kilogrammetrul pe secundă (kgm/s). Aceasta înseamnă 1 kg ridicat la 1 m în timp de o secundă.

In tehnică se întrebuinţează unitatea de cal putere (CP) care este puterea ce produce un lucru mecanic de 75 kgm/s.

$$1 \text{ CP} = 75 \text{ kgm/s}.$$

Din cele de mai sus se vede că puterea este egală cu energia împărţită la timp şi invers, energia este egală cu puterea înmulţită cu timpul.

Dacă notăm energia cu W, puterea cu P şi timpul cu t, legătura între putere şi energie este:

$$P = \frac{W}{t}; \qquad W = P \times t.$$

Exerciţii:

1. Să se afle ce energie se înmagazinează într'un corp de 30 kg ridicat la înălţimea de 5 m. De asemenea să se afle puterea în CP necesară pentru ridicarea acestui corp în timp de 2 secunde.

Scanned with OKEN Scanner

Rezolvare :

$$W = 30 \times 5 = 150 \text{ kgm}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{150}{2} = 75 \text{ kgm/s}$$

$$P = 75 \text{ kgm/s} = 1 \text{ CP}$$

2. Un motor de automobil are 20 CP. Să se afle energia mecanică dată de motor timp de 5 minute.

Rezolvare :

$P = 20$ CP $= 20 \times 75 = 1500$ kgm/s

5 minute $= 5 \times 60 = 300$ secunde

$W = P \times t = 1500 \times 300 = 450\,000$ kgm.

34. Puterea și energia electrică

Am văzut că tensiunea electrică, măsurată cu voltmetrul, produce mișcarea electronilor, deci deplasarea unei cantități de electricitate în conductorii electrici. Lucrul mecanic efectuat de o cantitate de electricitate este proporțional cu tensiunea V (volți) și cu cantitatea de electricitate Q (coulombi) respectivă.

Avem formula :

$$W = U \times Q$$

Dar cum $Q = I \times t$, unde cu I am notat intensitatea curentului (amperi) și cu t timpul în secunde, se vede că :

$$W = UIt \text{ și deci}$$

$$P = \frac{W}{t} = UI \qquad (1)$$

Puterea electrică se calculează, deci, făcând produsul între tensiunea *(U)* și intensitatea curentului *(I)*.

Dacă notăm puterea electrică desvoltată într'un circuit cu P, avem :

$$P = U \times I \text{ (wați)}$$

unde U (volți) este tensiunea la bornele circuitului și I (amperi) este intensitatea curentului din acel circuit.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă în formula (1) înlocuim pe U cu $R \times I$ (din legea lui Ohm) atunci puterea electrică se mai poate scrie:

$$P = R \times I \times I = R \times I^2$$

unde: R = rezistența circuitului în ohmi,
I = intensitatea curentului în amperi.

Dacă în formula (1) înlocuim pe I cu $\frac{U}{R}$ (tot din legea lui Ohm) atunci formula puterii se mai poate scrie:

$$P = U \times \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \text{ (waţi).}$$

Puterea electrică se măsoară în waţi. Multiplul wattului este kilowattul.

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W.}$$

Legătura între puterea electrică şi puterea mecanică. In mod obişnuit puterea mecanică se măsoară în CP, iar cea electrică în kW. Legătura între ele este:

$$1 \text{ CP} = 0{,}736 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1{,}36 \text{ CP.}$$

Energia electrică,

După cum am văzut, energie înseamnă putere în timp sau putere $\times$ timp. Dacă notăm energia cu W avem:

$$W = P \times t$$

Cele 3 formule ale puterii electrice vor deveni:

$$W = U \times I \times t \text{ (jouli)}$$

$$W = R \times I^2 \times t \text{ (jouli)}$$

$$W = \frac{U^2}{R} \times t \text{ (jouli)}$$

Energia electrică se măsoară în jouli sau waţi $\times$ secunde

1 joule = 1 watt $\times$ 1 secundă = 1 watt secundă (Ws)

Scanned with OKEN Scanner

In practica industrială se foloseşte ca unitate de măsură pentru energia electrică kilowattora (kWh).

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ Ws (jouli)}$$

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ jouli}$$

$$1 \text{ joule} = \frac{1}{3\,600\,000} \text{ kWh.}$$

35. Puterea termică produsă de curentul electric (Legea lui Joule-Lenz)

Dacă luăm un fir de metal (o rezistenţă electrică) şi îi legăm cele două capete la bornele unei maşini electrice, adică supunem firul la o tensiune electrică, după un timp firul se va încălzi; trecerea curentului prin acel fir a provocat încălzirea lui. Cantitatea de căldură pe care o desvoltă acel fir la trecerea curentului prin el se poate afla prin legea lui Joule-Lenz, care se scrie astfel:

$$Q = 0{,}24 \times R \times I^2 \times t \text{ (cal)}$$

în care:

Q = cantitatea de căldură ce se desvoltă în circuit la trecerea curentului. Cantitatea de căldură rezultă în calorii-gram (cal); 0,24 este un coeficient (echivalentul termic al energiei electrice, al unui joule),

R = rezistenţa electrică în ohmi,
I = intensitatea curentului în amperi,
t = timpul cât trece curentul prin circuit în secunde.

Legea lui Joule-Lenz se mai poate scrie:

$$Q = 0{,}24 \times R \times I \times I \times t = 0{,}24 \times U \times I \times t,$$

căci $RI = U$

în care U = tensiunea în volţi la bornele rezistenţei R.

In ambele formule de mai sus:

$$Q = 0{,}24 \times U \times I \times t = 0{,}24\ W \quad (37)$$

Se vede că: $Q = 0{,}24 \times W$, adică cantitatea de căldură (energia termică) este egală cu coeficientul termic 0,24 × energia electrică în jouli. Se vede deci că energia electrică

din circuit s'a transformat în energie termică. Aceasta se împrăștie în mediul înconjurător.

Exerciții

1. Să se afle puterea electrică a unui generator de curent continuu a cărui tensiune la borne este 220 V sub un curent de 5 A.

Rezolvare:

$$P = U \times I = 220 \times 5 = 1100 = 1{,}100 \text{ kW.}$$

2. Un încălzitor electric cu o rezistență de 20 Ω absoarbe un curent de 5 A. Să se afle puterea lui electrică.

Rezolvare:

$$P = R \times I^2 = 20 \times 5^2 = 500 = 0{,}500 \text{ kW.}$$

3. Să se afle puterea electrică consumată de un bec electric cu o rezistență de 200 Ω alimentat la o tensiune de 120 V.

Rezolvare:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{120^2}{200} = \frac{14\,400}{200} = 72 \text{ W} = 0{,}072 \text{ KW.}$$

4. Un motor electric absoarbe o putere electrică de 20 kW. Care este energia în kWh consumată de un motor timp de 2 minute.

Rezolvare:

$$20 \text{ kW} = 20\,000 \text{ W}$$

$$2 \text{ minute} = 2 \times 60 = 120 \text{ s}$$

$$W = P \times t = 20\,000 \times 120 = 2\,400\,000 \text{ jouli.}$$

Energia electrică consumată în kWh este:

$$W = \frac{2\,400\,000}{3\,600\,000} = 0{,}66\text{o} \text{ kWh.}$$

5. Care este cantitatea de căldură în cal. desvoltată de un încălzitor electric cu o rezistență de 30 Ω prin care circulă un curent de 10 amperi timp de 5 minute.

Rezolvare:

$$5 \text{ min} = 5 \times 60 = 300 \text{ s.}$$

$$Q = 0{,}24 \times R \times I^2 \times t = 0{,}24 \times 30 \times 10^2 \times 300 =$$

$$= 0{,}24 \times 900\,000 = 216\,000 \text{ cal.}$$

Cum 1000 cal. = 1 kcal avem $Q = 216$ kcal.

Scanned with OKEN Scanner

6. Să se afle cantitatea de căldură în kcal dată de un fir supus la tensiunea $U = 110$ V, prin care trece un curent $I = 15$ A timp de 10 minute.

Rezolvare:

$$10 \text{ minute} = 10 \times 60 = 600 \text{ secunde.}$$
$$Q = 0{,}24 \times U \times I \times t = 0{,}24 \times 110 \times 15 \times 600 = 237\,600 \text{ cal.}$$
$$Q = 237{,}600 \text{ kcal.}$$

7. Se dau trei becuri electrice montate în serie (fig. 39) unul cu o rezistență de 200 Ω, altul cu 300 Ω și al treilea a 400 Ω. Prin toate trece un curent de 2 A. Să se afle puterea electrică consumată de fiecare bec în parte și puterea totală consumată în circuit.

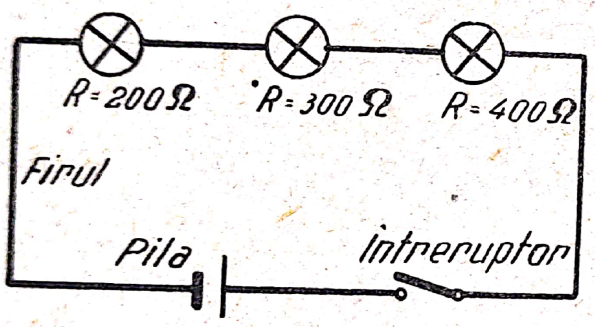


Fig. 39. Trei becuri montate în serie.

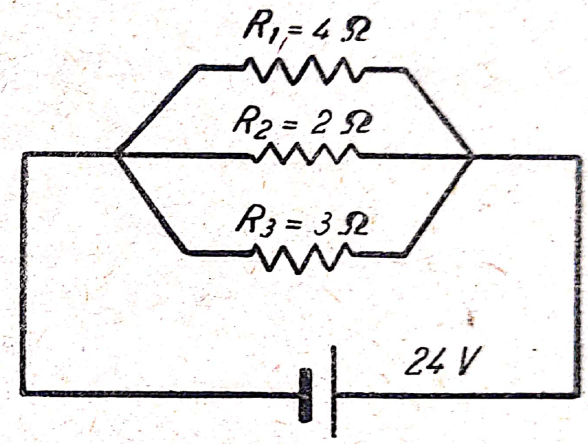


Fig. 40. Trei rezistențe legate în paralel.

Rezolvare:

În rezistența R_1 se consumă puterea $P_1 = R_1 \times I^2 = 200 \times 2^2 = 800$ W.
„ „ R_2 „ „ „ $P_2 = R_2 \times I^2 = 300 \times 2^2 = 1200$ W.
„ „ R_3 „ „ „ $P_3 = R_3 \times I^2 = 400 \times 2^2 = 1600$ W.

Puterea totală consumată în circuit P este egală cu suma puterilor consumate de fiecare bec în parte

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 800 + 1200 + 1600 = 3600 \text{ W.}$$

Puterea totală se mai poate afla și astfel; aflăm mai întâi rezistența totală R_t și o înmulțim cu I^2

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 = 200 + 300 + 400 = 900\ \Omega$$
$$P = R_t \times I^2 = 900 \times 2^2 = 3600 \text{ W.}$$

8. Trei rezistențe electrice, una de 4 Ω, una 2 Ω și a treia de 3Ω sunt montate în paralel și supuse la o tensiune de 24 V *(Fig. 40)*. Să se afle puterea electrică consumată de fiecare rezistență și puterea totală consumată în circuit.

Puterea electrică consumată de rezist. R_1 este $P_1 = \frac{U^2}{R_1} = \frac{24^2}{4} = \frac{576}{4} = 144$ W

" " " " " R_2 " $P_2 = \frac{U^2}{R_2} = \frac{24^2}{2} = \frac{576}{2} = 288$ W

" " " " " R_3 " $P_3 = \frac{U^2}{R_3} = \frac{24^2}{3} = \frac{576}{3} = 192$ W

Puterea totală P consumată în circuit este egală cu suma puterilor consumate de fiecare rezistenţă în parte:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 144 + 288 + 192 = 624 \text{ W}.$$

Puterea totală se mai poate afla şi pe altă cale:

Calculăm rezistenţa echivalentă a circuitului pe care o notăm cu R_t.

Puterea totală este: $P = \frac{U^2}{R_t}$.

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{4} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{3}{12} + \frac{6}{12} + \frac{4}{12} = \frac{13}{12}$$

$$R_t = \frac{12}{13} = 0,92\ \Omega$$

$$P = \frac{U^2}{R_t} = \frac{24^2}{0,92} = \frac{576}{0.92} = 626 \text{ W}.$$

Se vede că puterea totală aflată prin ambele metode este aceeaşi

36. Unităţi electrice practice

Ohmul (Ω) este unitatea de măsură pentru rezistenţa electrică.

Un ohm este rezistenţa unei coloane de mercur lungă de 106,3 cm cu secţiunea constantă şi cu greutatea de 14,452 g la 0^0C.

Multiplii şi submultiplii ohmului sunt:

Megohmul (M Ω) = 1 000 000 ohmi.

Microohmul ($\mu\ \Omega$) = $\frac{1}{1\,000\,000}$ ohmi

Coulombul (C) este unitatea de măsură pentru cantitatea de electricitate. O cantitate de electricitate de 1 coulomb

depune 1,118 miligrame de argint trecând printr'o soluție apoasă de nitrat de argint.

Multiplii lui sunt:

kilocoulombul = 1000 coulombi;

dar 1 coulomb = un amper-secundă (As) așa dar:

1 amper-oră (Ah) = 3600 As = 3600 coulombi.

Amperul (A) este unitatea de măsură pentru intensitatea curentului electric. 1 amper este intensitatea curentului care dă un coulomb pe secundă.

Multiplii și submultiplii amperului sunt:

un kiloamper (kA) = 1000 A

$$\text{un miliamper (mA)} = \frac{1}{1000}\ \text{A}$$

$$\text{un microamper } (\mu\text{A}) = \frac{1}{1\,000\,000}\ \text{A.}$$

Voltul (V) este unitatea de măsură pentru diferența de potențial sau tensiune electrică și pentru forța electromotoare. 1 volt este diferența de potențial ce există între capetele unei conducte electrice cu $R = 1\ \Omega$ când curentul ce trece prin conductă este de 1 A.

$1\ \text{V} = 1\ \Omega \times 1\ \text{A}$

Multiplii și submultiplii voltului sunt:

kilovoltul (kV) = 1000 V

$$\text{milivoltul (mV)} = \frac{1}{1000}\ \text{V}$$

$$\text{microvoltul } (\mu\text{V}) = \frac{1}{1\,000\,000}\ \text{V.}$$

Wattul (W) este unitatea de măsură pentru puterea electrică. 1 Watt este puterea electrică într'un circuit electric supus la tensiunea de 1 volt prin care circulă un curent de 1 amper.

1 watt = 1 V × 1 A.

Scanned with OKEN Scanner

Multiplii wattului sunt:

kilowattul (kW) = 1000 waţi

megawattul (MW) = 1 000 000 waţi.

Joulul (wattsecunda) este unitatea de măsură pentru energia electrică.

1 joule este energia electrică a unui circuit electric cu o putere de 1 watt în timp de o secundă:

1 joule = 1 watt × 1 secundă (Ws).

Multiplii sunt:

wattora (Wh) = 3600 waţisecunde = 3600 jouli.

kilowattora (kWh) = 1000 Wh = 3 600 000 Ws = 3 600 000 jouli.

37. Aplicaţii electrice industriale: siguranţe electrice, disjunctoare, luminat electric, cuptoare electrice, sudură electrică.

a) Siguranţe electrice şi disjunctoare

Siguranţele electrice sunt nişte rezistenţe formate din fir subţire care se topeşte uşor. Ele servesc la întreruperea automată a curentului electric, când acesta creşte peste o anumită limită. Intreruperea se face prin topirea firului datorită încălzirii puternice ce se produce prin trecerea unui curent prea mare prin ea.

Să presupunem că avem o siguranţă calculată să reziste până la 10 A. Aceasta înseamnă că siguranţa a fost calculată ca să nu se topească de cât atunci când curentul întrece 10 A. Peste această intensitate siguranţa se încălzeşte peste punctul de topire, datorită efectului Joule-Lenz ($Q = 0{,}24 \times R \times I^2 \times t$) şi prin topire întrerupe curentul în circuit.

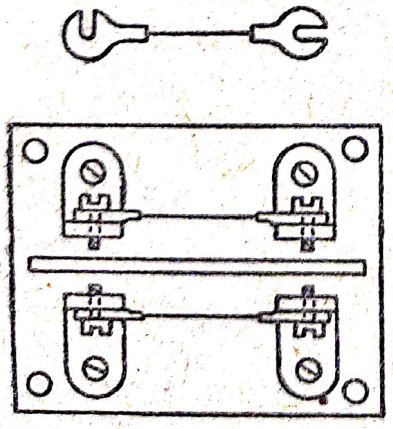


Fig. 41. Siguranţe fuzibile.

Siguranţele sunt folosite pentru îndepărtarea scurt-circuitelor. După cum ştim, un scurt-circuit produce un curent foarte mare, care trecând prin siguranţă îi topeşte firul şi întrerupe circuitul *(fig. 41)*.

Mai există și alte aparate care întrerup curentul în mod automat. Acestea sunt bazate pe dispozitive electromagnetice; după cum vom vedea mai târziu, ele se numesc disjunctoare.

b) Luminatul electric

Luminatul prin incandescență. Cele mai întrebuințate lămpi electrice sunt așa numitele lămpi cu incandescență. Ele sunt formate dintr'un fir subțire de metal care nu se topește decât la temperaturi foarte ridicate (ca de ex. tungstenul, la 3200°C).

Acest fir, numit filament, este montat în interiorul unui balon de sticlă umplut cu gaz inert; astăzi se întrebuințează argonul sau criptonul, ce se obțin prin distilarea aerului lichid.

Prin trecerea curentului electric prin fir, acesta se încălzește, devine incandescent și începe să emită raze luminoase.

Durata unei asemenea lămpi este de 1000-1500 ore.

Filamentul primelor lămpi incandescente a fost fabricat din firișoare de bambu, apoi din pastă de celuloză trase prin filiere și apoi carbonizată. Ele se numeau lămpi cu filament de cărbune și aveau o consumație mare de energie electrică ($3^1/_2$ watt pe lumânare).

De obiceiu montajul lămpilor se face în derivație pe firele liniei electrice, care trebue să aibă o diferență de potențial constantă de ex.: 110 V, 120 V sau 220 V (tensiunile obișnuite).

Luminatul prin arc voltaic. Arcul voltaic a fost descoperit în 1803 de Petrov, iar în 1876 Jablocicov l-a întrebuințat la luminat.

Producerea arcului se face prin doi electrozi de cărbune

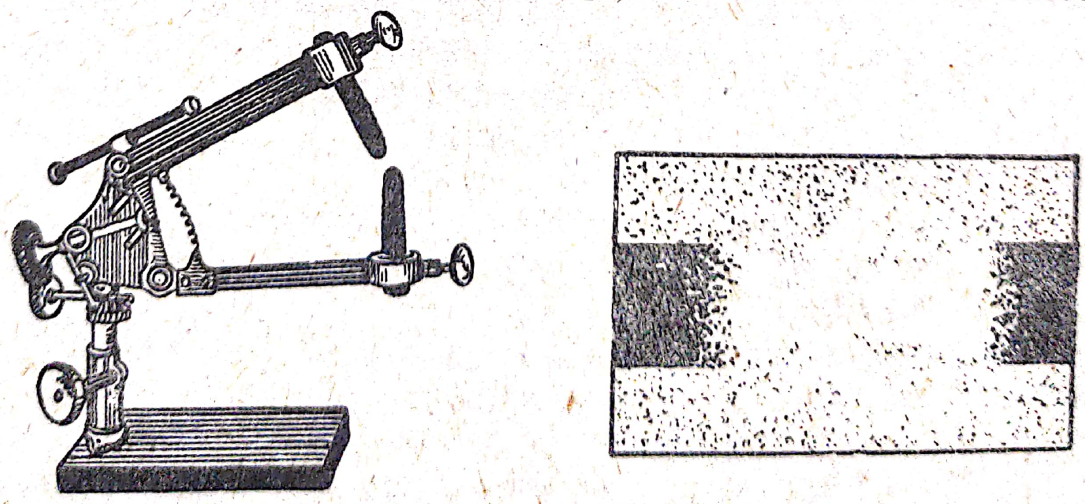


Fig. 42 a și b. Arcul electric.

prin care se trece un curent de 10-12 A sub o tensiune de

40-75 V. Cei doi electrozi se aduc la început în contact, apoi îndepărtându-se uşor, se naşte între vârfuri un arc electric compus din particule de cărbune incandescente şi gaze de combustiune prin care circulă curentul electric atât timp cât vârfurile electrozilor nu se îndepărtează prea mult prin consumarea lor *(fig. 42)*.

In curent continuu, cărbunele pozitiv se consumă mai mult decât cel negativ, mai ales spre centrul unde se produce o gaură (crater). Cărbunele negativ capătă în timpul arderii un vârf ascuţit. Pe măsura arderii, cărbunii trebue să fie apropiaţi pentru ca să nu se întrerupă arcul.

In condiţii speciale arcul voltaic poate produce temperaturi foarte mari. Astfel în 1915 Lummer, producând un arc în hidrogen la o presiune de 22 at, a obţinut o temperatură de 6 500^0 (după calcul). La această temperatură cărbunele se topeşte.

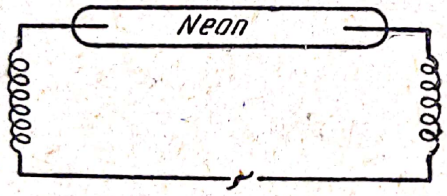


Fig. 43. Lampa cu neon.

Lămpi cu neon. Luăm un tub umplut cu neon la ale cărui capete se află doi electrozi. Dacă supunem acest tub la o tensiune, se observă prin interiorul lui o lumină datorită trecerii curentului prin neon care devine luminos *(fig. 43)*.

c) Aplicaţii în menaj

Incălzirea pe care o produce trecerea curentului electric prin rezistenţe a găsit şi în menaj aplicaţii. Astfel avem: maşini electrice de călcat, maşini electrice de gătit, fierbătoare, încălzitoare, radiatoare, etc. Acestea au la bază o rezistenţă care se încălzeşte la trecerea curentului. Rezistenţa este izolată de masa metalică prin material izolant (fluturaşi de mică şi asbest). Aceste materiale izolante au şi proprietatea că ţin mult timp căldura înmagazinată în ele.

Maşinile electrice de gătit au în interiorul lor rezistenţe electrice ce se încălzesc la trecerea curentului. Căldura degajată serveşte pentru gătit.

Fierbătorul electric este un aparat utilizat în menaj cu ajutorul căruia putem încălzi apa sau mâncarea. Se compune dintr'o placă din material refractar (rău conducător de electricitate) pe care se montează un fir lung şi subţire răsucit în spirală, pentru a ocupa un spaţiu cât mai mic. Acest fir este o rezistenţă electrică. Când trecem un curent electric prin această

Scanned with OKEN Scanner

rezistenţă ea se încălzeşte. Materialul refractar acumulează o parte din căldura rezistenţei şi o păstrează pentru ca să o redea atunci când rezistenţa nu mai este încălzită.

Maşina electrică de călcat. In *fig. 44 a* se vede interiorul maşinii când scoatem capacul. Este formată dintr'un bloc metalic *A* pe care se aşază un strat izolant din fluturaşi de mică sau un aglomerat de mică. Deasupra se aşază rezistenţa electrică *R* ale cărei capete se leagă la contactele *C*. Peste rezistenţa *R* urmează un alt strat de fluturaşi de mică *M*, care

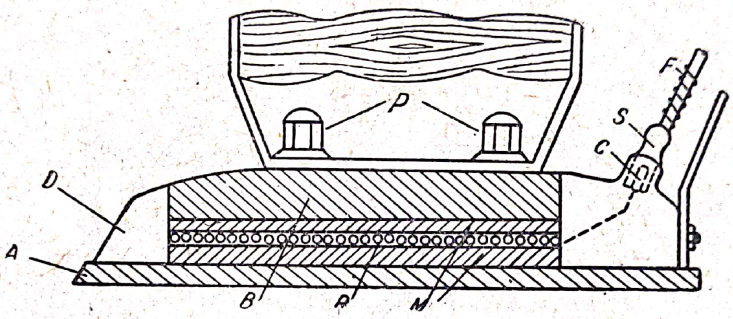


Fig. 44. Maşină electrică de călcat.

izolează rezistenţa de blocul metalic *B*. Deasupra se fixează capacul *D* care se prinde de masă prin două şuruburi *P*. Fluturaşii de mică au rolul să izoleze rezistenţa de masa metalică. Curentul electric este adus la rezistenţă prin firul *F* şi fişa *S*.

La trecerea curentului electric prin rezistenţă, aceasta se încălzeşte şi prin intermediul izolantului, încălzeşte masa metalică, care înmagazinează căldura primită.

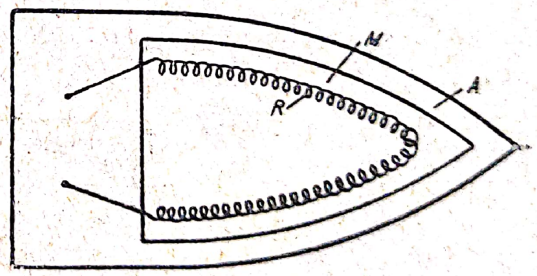


Fig. 44 a. Rezistenţa maşinii de călcat.

d) Cuptoare electrice

In industrie, topirea pieselor, sau încălzirea lor pentru prelucrare, se face în cuptoare electrice. In metalurgie cuptoarele electrice servesc la călirea oţelului şi chiar la fabricarea oţelurilor speciale; în industria sticlei ele servesc la topirea sticlei.

Cuptoarele electrice sunt de trei feluri: cuptoare cu rezistenţă, cuptoare cu arc şi cuptoare de inducţie. Vom descrie numai primele două.

Cuptorul cu rezistență este format dintr'un șir de bare verticale semiconductoare așezate în niște canale adânci.

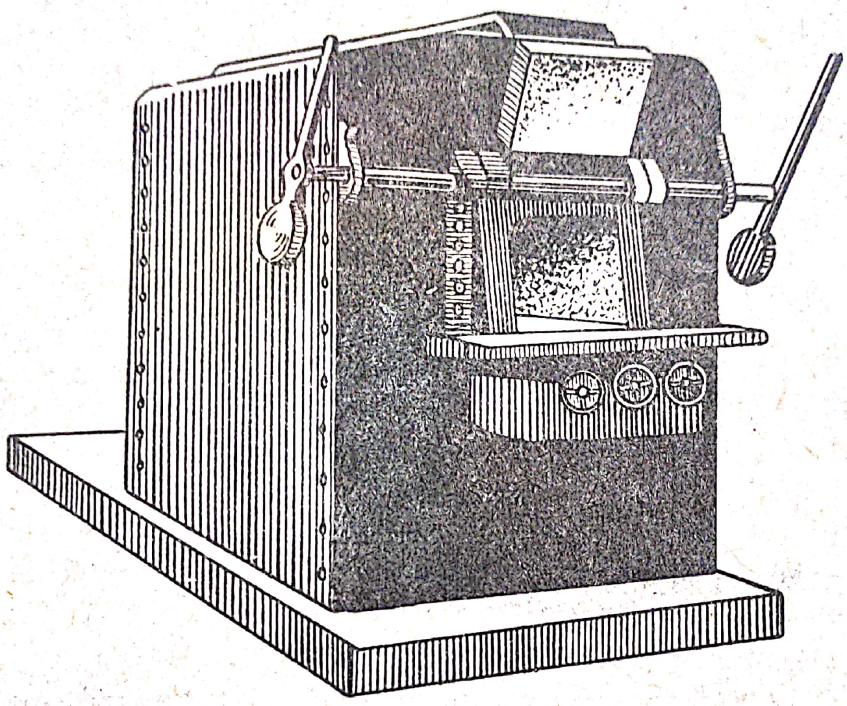


Fig. 45. Cuptor electric.

Aceste bare constitue rezistențele, care se încălzesc prin trecerea curentului, după legea lui Joule-Lenz. Căldura se împrăștie de aici în interiorul cuptorului *(fig. 45)*.

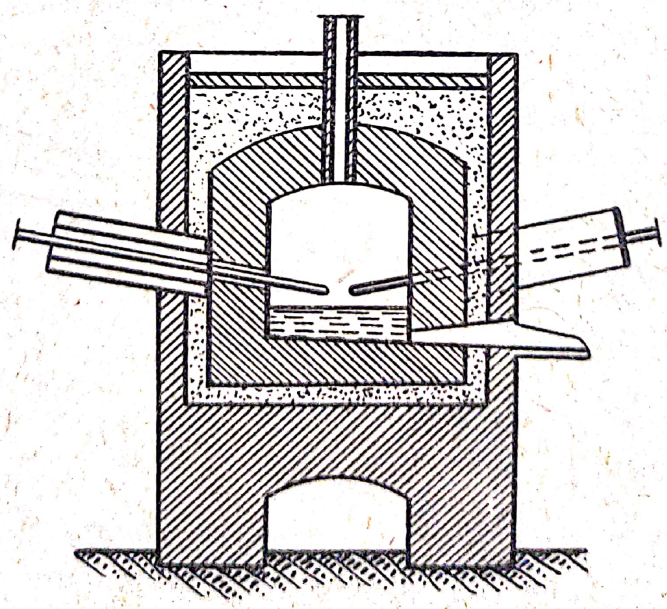


Fig. 46 a. Cuptor electric cu arc voltaic.

Scanned with OKEN Scanner

La cuptorul cu arc voltaic, arcul se produce între doi electrozi de cărbune, supuși la o tensiune și așezați la o anumită

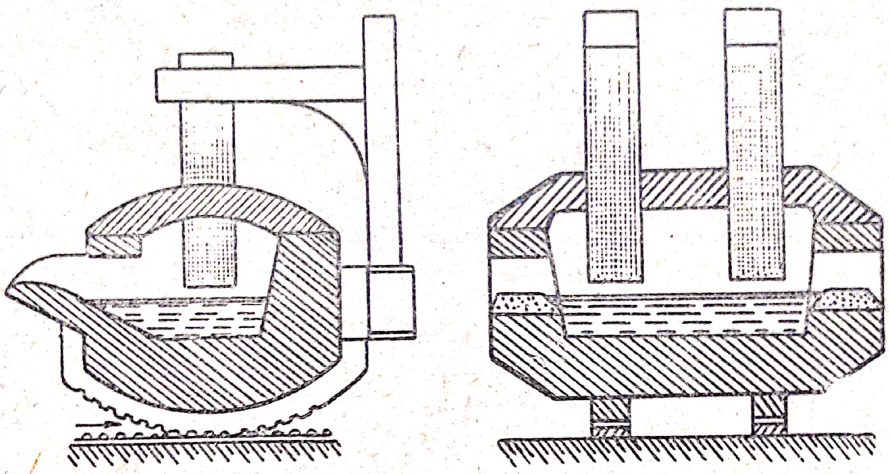


Fig. 46 b. Cuptor electric cu arc voltaic.

distanță unul de altul (*fig. 46 a, b și c*) într'un cuptor căptușit cu cărămizi refractare și alți izolanți termici. Temperatura ob-

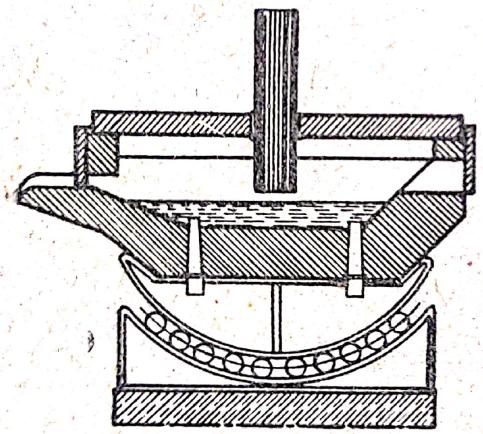


Fig. 46 c. Cuptor electric cu arc voltaic.

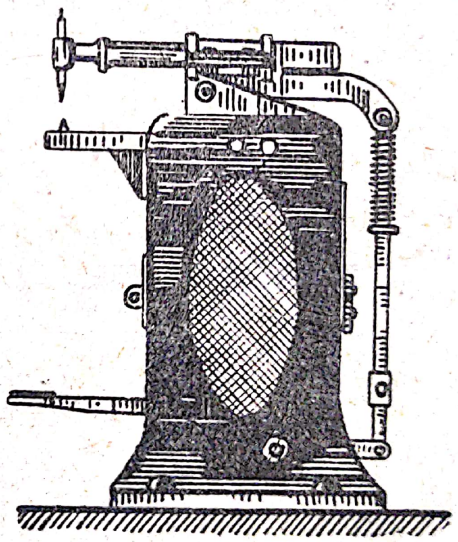


Fig. 47 a. Aparat de sudură electrică prin rezistență de contact (prin puncte).

ținută este de circa 4 000°. Cuptorul cu arc servește la prepararea carbidului, a carborundului, a exizilor de azot, etc.

e) Sudura electrică

Pentru îmbinarea pieselor metalice se utilizează, cu bune

rezultate, sudura electrică. Sunt două procedee de sudură electrică: prin rezistență de contact și prin arc.

Sudura electrică prin rezistență de contact realizează lipirea pieselor de sudat prin trecerea unui curent electric foarte

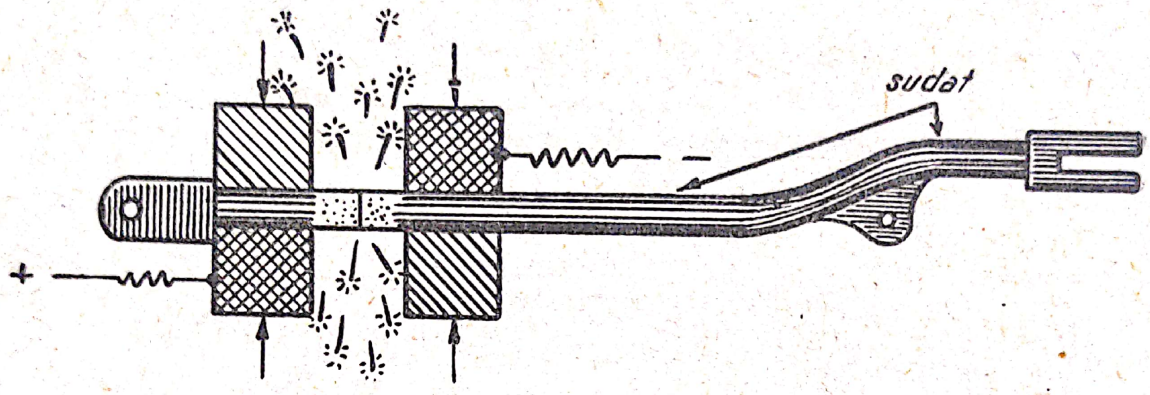


Fig. 47 b. Sudură electrică prin rezistență de contact (cap la cap) I.

puternic (5000 - 25 000 amperi) prin piesele apropiate puse în contact în punctul de sudat.

In acest punct de contact cele două piese prezintă din punct de vedere electric, o rezistență mărită la trecerea curen-

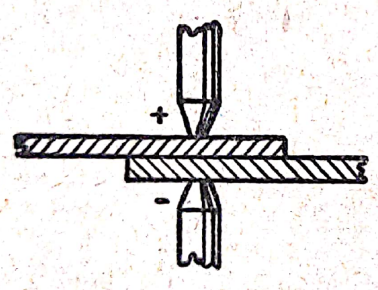


Fig. 47 c. Sudură electrică prin rezistență de contact.

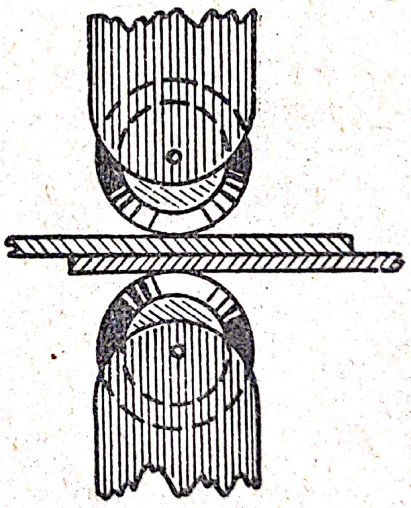


Fig. 47 d. Sudură electrică prin rezistență de contact (prin cusătură).

tului. Piesele se vor topi în acest punct, datorită căldurii desvoltate de curentul electric (efect Joule - Lenz) ce trece prin rezistența de contact.

Dacă porțiunile topite sunt apăsate una în alta, se obține îmbinarea dorită.

A doua metodă de sudură electrică se realizează cu aju-

Scanned with OKEN Scanner

torul arcului voltaic *(fig. 48)*. In locul ce trebue sudat se adaugă metal topit.

Metalul de adăugat se prezintă sub forma unei vergele care se topește datorită arcului voltaic ce se produce între vergeaua care constitue un electrod și piesa de sudat, care constitue celălalt electrod, cei doi electrozi fiind legați la bornele unui transformator electric de sudură.

Acest procedeu de sudură a fost imaginat de învățătorul rus Slaveanov.

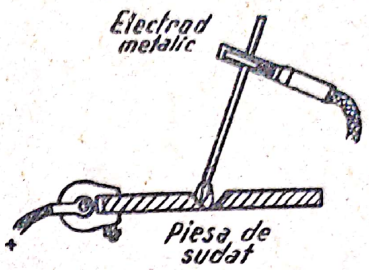


Fig. 48. Sudură electrică prin arc voltaic.

CAP. VI. CÂMPUL MAGNETIC

38. Câmpul magnetic al unui curent ce trece printr'un conductor drept

Experiență. Prin gaura unei planșete (de carton sau sticlă) orizontale trecem un conductor drept *(fig. 49)*.

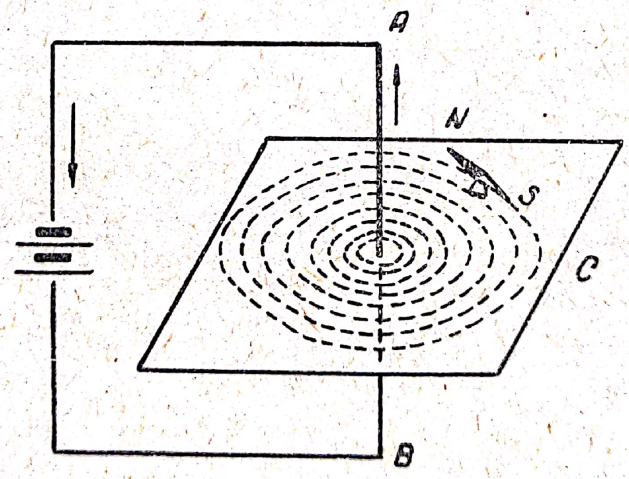


Fig. 49. Câmpul magnetic creat de un curent electric rectiliniu.

Dacă presărăm pilitură de fier pe planșetă și trecem un curent prin conductor se observă că pilitura se așază după niște cercuri concentrice în jurul conductorului. Acest lucru ne arată că un fir străbătut de un curent electric este înconjurat de un câmp magnetic. De asemenea un ac magnetic plimbat

de-a-lungul unui asemenea cerc va fi în permanenţă tangent la acest cerc (*fig. 49 a*).

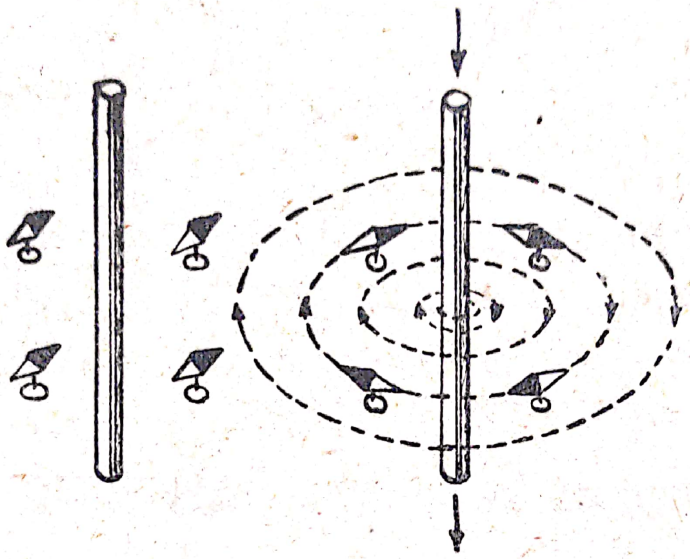


Fig. 49 a. Sensul liniilor de forţă ale câmpului magnetic creat de un curent rectiliniu.

Liniile acestea sunt numite *liniile de forţă* ale câmpului magnetic.

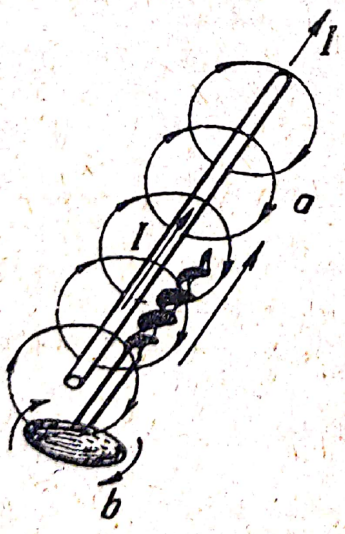


Fig. 50. Stabilirea sensului liniilor de forţă ale câmpului magnetic creat de un curent electric, cu ajutorul tirbuşonului.

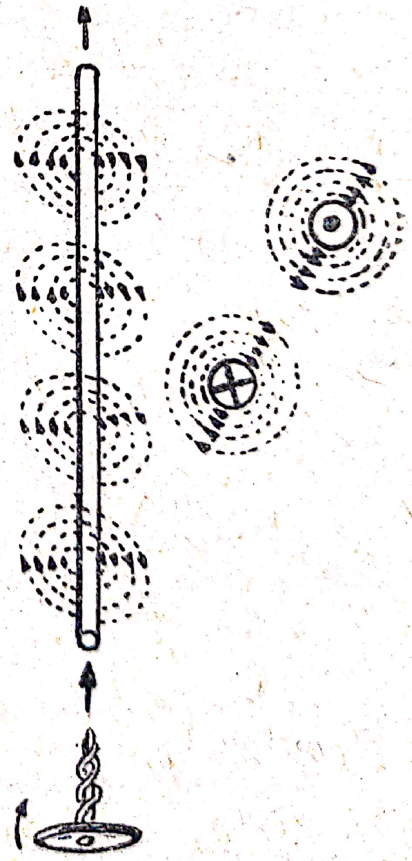


Fig. 50 a. Regula burghiului.

Scanned with OKEN Scanner

Sensul acestor linii de forță este dela Sudul spre Nordul acului busolei (*fig. 50*). El este dat de sensul în care se înșurubează un tirbușon sau burghiu care înaintează în sensul curentului (*fig. 50 a* și *50 b*).

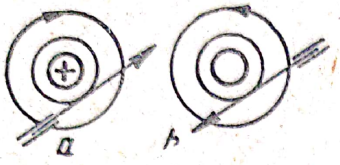


Fig. 50 b. Sensul liniilor de forță.

Această regulă a fost dată de fizicianul Maxwell și se numește *regula tirbușonului* sau *a burghiului.*

In *fig. 50 c* se vede câmpul magnetic al unui curent ce străbate un fir drept.

Experiență. Dacă în locul unui conductor drept se trece prin planșetă o bobină compusă din mai multe spire *(fig. 51)* se observă că la trecerea curentului pilitura de fier se așază

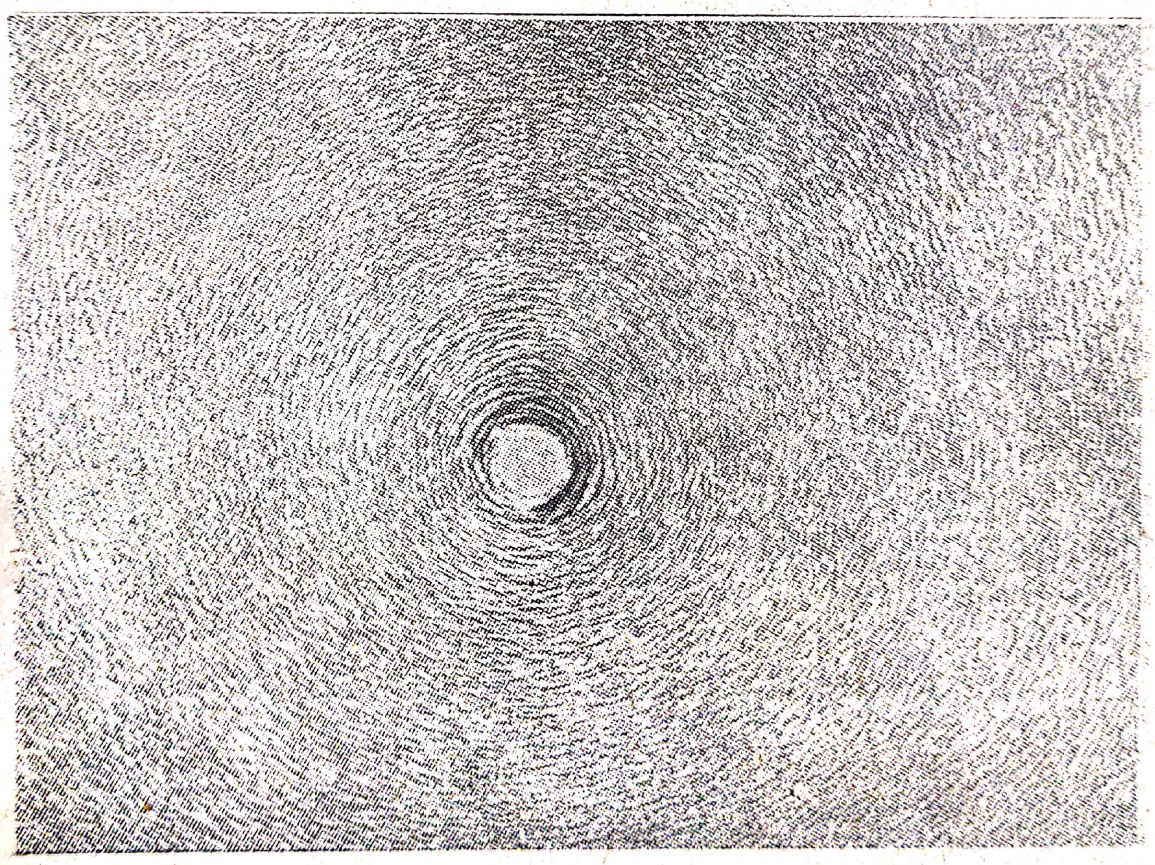


Fig. 50 c. Câmpul magnetic al unui curent rectiliniu.

pe niște linii foarte dese în interiorul ei, iar la exterior numai la începutul și sfârșitul bobinei. Sensul liniilor de forță este dat tot de regula burghiului, de care vom vorbi mai jos.

Scanned with OKEN Scanner

Din aceste două experienţe se vede că atât forma cât şi mărimea câmpului magnetic se poate vedea după liniile după care se aşază pilitura de fier.

Intensitatea câmpului magnetic se măsoară prin numărul liniilor de forţă ce trec în aer, printr'un cm^2 de suprafaţă perpendiculară pe câmp, adică după desimea lor. Acolo unde liniile de forţă sunt mai dese, intensitatea câmpului magnetic este mai mare.

Câmpul magnetic, care are aceeaşi intensitate şi aceeaşi direcţie în toate punctele, se numeşte *omogen*. Intr'un câmp magnetic omogen, liniile de forţă sunt drepte paralele şi egal depărtate între ele.

Dacă examinăm liniile de forţă magnetică ale câmpurilor a produse de curenţi de intensitate diferită, se observă că, cu cât intensitatea curentului este mai mare, cu atât liniile de forţă sunt mai dese şi cu cât ne depărtăm de firul conducător, acestea sunt mai rare. Aceasta ne arată că intensitatea câmpului magnetic generat de un curent într'un punct din spaţiu, este direct proporţională cu intensitatea curentului şi invers proporţională cu distanţa.

Intensitatea câmpului magnetic se notează cu H şi este dată de formula

$$H = \frac{0{,}2\ I}{r} \text{ (oerstezi)}$$

în care: I = intensitatea curentului ce trece prin conductor, în amperi;

r = depărtarea conductorului de punctul unde se calculează intensitatea H, în cm. (această depărtare se ia perpendicular pe direcţia firului)

şi din formulă se vede că intensitatea câmpului magnetic H creşte cu curentul şi scade pe măsură ce ne depărtăm de curent (scade cu creşterea distanţei r).

39. Câmpul magnetic al unui curent circular şi al unei bobine

Liniile de forţă ale câmpului magnetic produs de un curent circular sunt într'un plan perpendicular pe spiră. Axa spirei trece prin centrul acestui câmp. La centrul spirei linia de forţă este dreaptă. Sensul liniei de forţă este dat tot de regula

burghiului, adică sensul de înaintare al unui burghiu care se învârteşte în sensul scurgerii curentului.

Câmpul magnetic produs de o bobină este arătat în *fig. 51*. Fiecare spiră se comportă ca un curent circular aşa că sensul liniilor de forţă va fi dat tot de regula burghiului. Sensul liniilor de forţă este sensul de înaintare al unui burghiu care se învârteşte în sensul curentului.

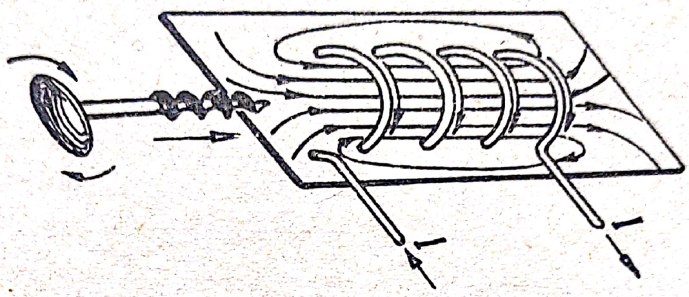


Fig. 51. Câmpul magnetic produs de o bobină.

Avem însă şi o altă regulă pentru aflarea sensului liniilor de forţă din interiorul bobinei (regula mâinii drepte). Apucăm bobina cu mâna dreaptă astfel încât cele 4 degete alăturate să fie îndreptate în sensul scurgerii curentului. Degetul cel mare arată sensul liniilor de forţă din bobină.

Dacă comparăm liniile de forţă ale unei bobine cu liniile de forţă ale unui magnet permanent, constatăm că au o distribuţie identică. Câmpul magnetic al unei bobine, prin care circulă un curent, este deci asemănător cu câmpul unui magnet permanent. Polul Nord al bobinei se află la capătul pe unde ies liniile de forţă, iar polul Sud la capătul pe unde intră liniile de forţă.

Intensitatea câmpului magnetic format de curentul ce străbate bobina, se calculează cu formula :

$$H = \frac{0{,}4 \times \pi \times N \times I}{l}$$

în care :

H = intensitatea câmpului magnetic, în oerstezi,
$0{,}4\,\pi$ = un coeficient,
N = numărul de spire al bobinei,
I = intensitatea curentului electric ce străbate bobina, în amperi,

l = lungimea bobinei în centimetri.

Produsul $N \times I$ poartă numărul de amperispire.

Notând $n = \frac{N}{l}$ obţinem numărul de spire pe centimetru de lungime al bobinei şi formula devine:

$$H = 1{,}256 \times n \times I$$

Numărul de amperispire, când cunoaştem intensitatea câmpului magnetic din interiorul bobinei *(H)* şi lungimea bobinei *(l)*, este dat de formula:

$$N \times I = \frac{H \times l}{0{,}4 \times \pi}$$

Exerciţii

1. Care este intensitatea câmpului magnetic în interiorul unei bobine lungi de 40 cm, având 800 spire şi care e străbătută de un curent de 2 A, aşezată în aer ($\mu = 1$)?

$$H = \frac{0{,}4 \times \pi \times N \times I}{l} = \frac{0{,}4 \times 3{,}14 \times 800 \times 2}{40} = 50 \text{ oerstezi}$$

Dacă vrem să ţinem seama de numărul de spire pe cm de lungime al bobinei, problema se rezolvă astfel:

$$n = \frac{N}{l} = \frac{800}{40} = 20 \text{ spire/cm}; \qquad 0{,}4 \times 3{,}14 = 1{,}256$$

$$H = 1{,}256 \times n \times I = 1{,}256 \times 20 \times 2 = 50 \text{ oerstezi.}$$

2. Câte amperispire trebue puse pe o bobină lungă de 50 cm pentru a obţine în aer un câmp magnetic de 100 oerstezi? Care va fi numărul de spire pentru o intensitate de curent de 5 A?

Din formula de mai sus scoatem:

$$N \times I = \frac{H \times l}{0{,}4 \times \pi} = \frac{100 \times 50}{0{,}4 \times 3{,}14} = \frac{5000}{1{,}256} = 4000 \text{ amperispire.}$$

Numărul de spire *(N)* pentru un curent de 5 A va fi:

$$N = \frac{N \times I}{I} = \frac{4000}{5} = 800 \text{ spire.}$$

Scanned with OKEN Scanner

40. Magneţi naturali şi artificiali. Teoria lui Ampère

Magneţi naturali şi artificiali

In cele ce preced am văzut că un curent electric generează în jurul său un câmp magnetic. Din antichitate însă, cu mult înainte de a se cunoaşte curentul electric, s'au cunoscut corpuri cari au proprietatea de a atrage bucăţi de fier, cum ar fi de exemplu magnetita.

Aşezate pe o planşetă de beton sau sticlă şi presând pilitură de fier, se observă că pilitura de fier se aşază după nişte linii la fel ca la un curent. Câmpurile generate având aceleaşi proprietăţi, au şi o cauză comună, curentul electric.

Corpurile cari au proprietatea de a atrage bucăţi de fier şi de oţel se numesc *magneţi.*

In Asia Mică, în localitatea Magnezia, s'a descoperit primul minereu de fier, magnetita, cu proprietăţi magnetice. Asemenea magneţi se numesc *magneţi naturali* şi sunt în general bucăţi din acest minereu.

Magneţii se fac şi pe cale artificială din oţel, în formă de bare drepte sau în formă de potcoave. Aceştia se numesc *magneţi artificiali.* Prin contactul cu magneţii naturali se poate foarte uşor obţine magneţi artificiali, aceştia îşi păstrează această proprietate şi după îndepărtarea magneţilor naturali.

Alte metale ca fierul moale, nichelul, cobaltul capătă proprietăţi magnetice numai atât timp cât sunt în atingere cu un magnet natural sau cu unul permanent.

Poli magnetici

Examinând un magnet în formă de bară, se observă că puterea de atracţie este mai accentuată la extremităţile barei magnetice şi aproape inexistentă la mijlocul lui. Aceste extremităţi se numesc *poli.* Linia care uneşte centrele celor doi poli se numeşte *axa polilor.* Linia perpendiculară pe mijlocul axei polilor se numeşte *axa neutră.*

De-a-lungul axei neutre nu se manifestă niciо acţiune de atracţie.

Dacă apropiem polii unui alt magnet de polii magnetului nostru, observăm că fiecare din aceştia exercită acţiuni deosebite. Inseamnă că magnetismul unui pol se manifestă diferit faţă de al celuilalt. Unul din poli îl numim pol Nord şi îl notăm cu *N,* iar celălalt polul Sud şi îl notăm cu *S.*

Scanned with OKEN Scanner

Explicaţia formării polilor

Explicaţia formării polilor magnetici a fost dată de Ampère. Fiecare moleculă a fierului este un magnet. Aceşti magneţi moleculari, dispuşi în şiruri, se neutralizează reciproc şi numai capetele dela cele două extremităţi ale corpului vor avea magnetism. O bucată de fier nemagnetizată este alcătuită din magneţi moleculari, orientaţi în toate direcţiile, aşa că acţiunea lor totală exterioară este nulă. Când bara este magnetizată, magneţii moleculari sunt orientaţi. Prin această orientare bara devine un magnet. Magnetismul molecular îşi găseşte explicaţia în curentul electric molecular, care circulă fără întrerupere şi fără rezistenţă. Experimental s'a dovedit în 1915 existenţa curenţilor moleculari.

41. Magnetismul pământesc. Acul magnetic. Busola

Un magnet subţire cu formă de romb, ce se poate roti în jurul unui ax vertical, poartă numele de *ac magnetic (fig. 52).*

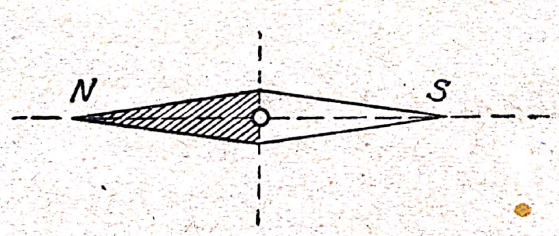


Fig. 52. Ac magnetic.

Oricum l-am aşeza, acul magnetic se roteşte cu un capăt către polul Nord al pământului şi cu celălalt către polul Sud. Această proprietate o au numai acele făcute din oţel călit şi magnetizat nu şi cele făcute din alte metale. Forţa care acţionează asupra acului magnetic şi îl face să ia o direcţie precisă ori unde s'ar afla, este *magnetismul pământesc.* Extremitatea, care se îndreaptă spre Nord o numim pol Nord, iar cea care se îndreaptă spre Sud o numim pol Sud.

Datorită acestei proprietăţi de orientare într'o anumită direcţie (Nord-Sud) acul magnetic a fost utilizat pentru busolă. In busolă se află un cadran cu punctele cardinale, deasupra căruia este situat acul magnetic, care rămâne mereu în direcţia aproximativ nord-sud. In raport cu această direcţie ne putem orienta ori unde pe pământ.

Scanned with OKEN Scanner

Declinaţia şi înclinaţia magnetică

Direcţia precisă a acului magnetic este determinată de 2 unghiuri ; unghiul de declinaţie magnetică şi cel de înclinaţie magnetică.

Pentru a afla declinaţia magnetică ne servim de un ac magnetic aşezat pe un pivot vertical *(fig. 53)*. Acul se poate roti liber într'un plan orizontal. Dacă situăm acul după meridianul geografic al locului, vedem că acul nu se aşază în lungul acestui meridian, ci face cu el un unghiu, numit *unghiu de declinaţie magnetică*. Declinaţia diferă dela un punct la altul al globului pă ântesc. De asemenea ea variază şi cu timpul. Există însă puncte pe glob unde direcţia acului coincide cu direcţia meridianului, adică unghiul de declinaţie magnetică este 0. Dacă unim toate aceste puncte, obţinem meridianul magnetic de 0, care împarte globul în două emisfere cu declinaţia magnetică estică, respectiv vestică.

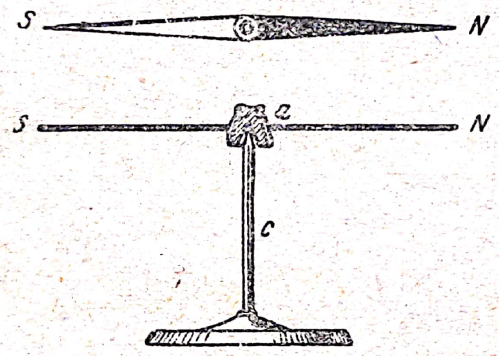


Fig. 53. Ac magnetic aşezat pe un pivot vertical.

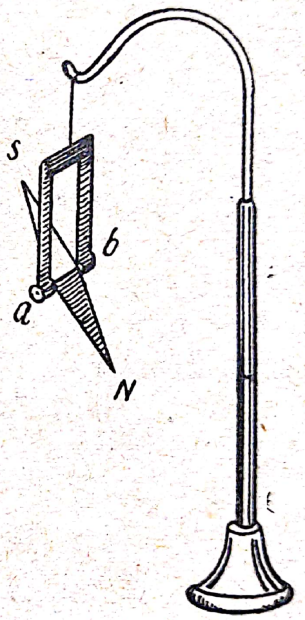


Fig. 54. Determinarea inclinaţiei magnetice.

Inclinaţie magnetică

Pentru determinarea inclinaţiei magnetice ne servim de dispozitivul din *fig. 54*. Acul magnetic *NS* se poate roti liber într'un plan vertical în jurul axei *a b*. Acul se opreşte într'o poziţie în care face un unghiu cu planul orizontal ce trece prin *a b*. Dacă situăm dispozitivul astfel ca acul să se afle în planul meridianului magnetic, atunci unghiul de înclinaţie

magnetică al acului se spune că este minim. Există puncte pe glob unde inclinația magnetică este 0. Linia care unește toate punctele pe glob cu inclinația magnetică zero se numește *ecuator magnetic*. Ecuatorul magnetic este apropiat de cel geografic și împarte globul în două emisfere: nordică și sudică; înclinația este nordică când polul Nord al acului se găsește sub axa lui și sudică, când polul sud al acului se află sub axă

42. Câmp magnetic

Câmpul magnetic al unui magnet este spațiul în care se exercită acțiunea magnetului. In acest spațiu magnetul poate exercita acțiuni de atracție asupra corpurilor, poate devia acul magnetic, etc. Dacă depărtăm obiectele, scoțându-le din spațiu, magnetul nu mai poate acționa asupra lor.

Dacă luăm un carton pe care presărăm pilitură de fier, iar sub carton punem o bară magnetică, pilitura se va așeza ca în *fig. 55*. Curbele după care se așază pilitura se numesc *linii de forță*. Se vede că liniile de forță sunt mai dese la poli și mai rare spre mijlocul barei, deci câmpul magnetic este mai puternic la poli și mai slab la mijlocul barei. De asemenea liniile de forță sunt foarte strânse în interiorul barei și răspândite în exterior. Ele formează curbe (circuite) închise.

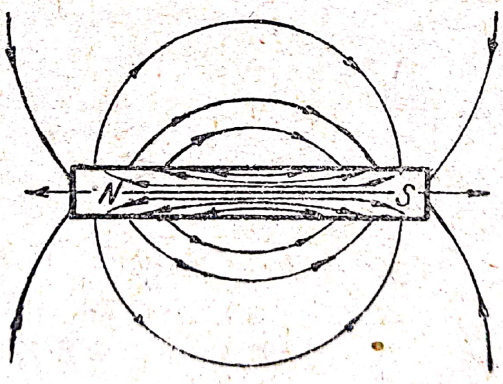


Fig. 55. Spectrul magnetic al unei bare magnetice.

43. Influența magnetică

Dacă introducem în câmpul magnetic al unui magnet o bară de fier moale nemagnetizată, aceasta se va magnetiza și va exercita acțiuni de deviere asupra acului magnetic.

Pentru a ilustra acest lucru, facem următoarea experiență:

Scanned with OKEN Scanner

Punem pe o masă pilitură de fier *(fig. 56)*. Luăm o bară de fier pe care o ţinem deasupra piliturii. Ridicând bara vedem că pilitura nu este atrasă. Dacă însă deasupra barei apropiem un magnet, atunci bara va atrage pilitura de fier *(fig. 57)*. Inseamnă că bara de fier, fiind acum în câmpul magnetic al magnetului, a căpătat proprietăţile magnetice ale acestuia, adică s'a magnetizat prin influenţă. Dacă îndepărtăm magnetul de bară, aceasta nu va mai atrage pilitura de fier.

Dacă facem aceeaşi experienţă cu o bară

Fig. 56. Bara de fier *a* nu atrage pilitura.

Fig. 57. Magnetizarea barei *b*.

de oţel, aceasta îşi va păstra proprietăţile magnetice şi după îndepărtarea magnetului.

44. Flux magnetic

Dacă comparăm distribuirea liniilor de forţă în interiorul unei bucăţi de fier, cu distribuirea lor în aer, fără fier, spaţiul de aer având însă aceeaşi secţiune ca şi fierul, constatăm că prin interiorul fierului trec mai multe linii de forţă decât prin aer. Prin fier liniile de forţă se îndeasă *(fig. 58)*. Printr'un material trec mai multe sau mai puţine linii de forţă după cum acest material este mai magnetic sau mai puţin magnetic.

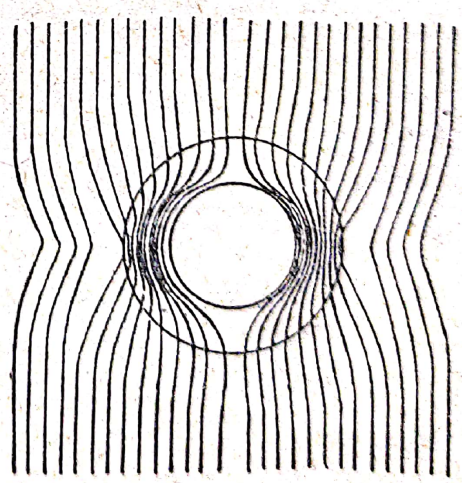


Fig. 58. Spectrul magnetic al unui inel de fier.

Numărul de linii de forță ce trece prin suprafața unui material oarecare se numește *flux magnetic*, care este cu atât mai mare cu cât materialul este mai magnetic.

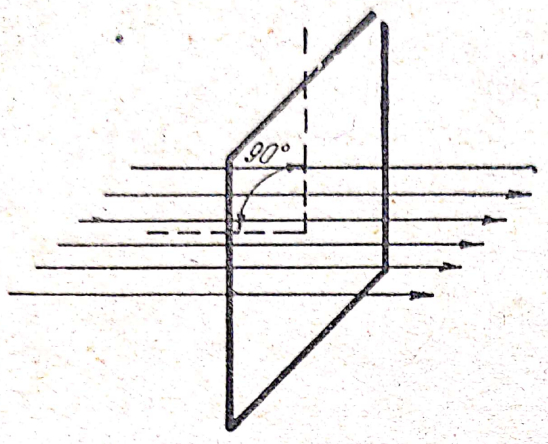


Fig. 59. Linii de forță perpendiculare pe o suprafață.

Dacă suprafața câmpului este situată perpendicular pe liniile de forță, aceasta este străbătută de un număr mai mare de linii de forță, decât dacă este situată înclinat față de liniile de forță *(fig. 59)*.

In primul caz deci fluxul magnetic este mai mare. Fluxul este nul atunci când suprafața este paralelă cu câmpul magnetic *(fig. 60)* (suprafața nu este străbătută de nici o linie de forță), și este maxim când suprafața este perpendiculară pe liniile de forță *(fig. 59)*.

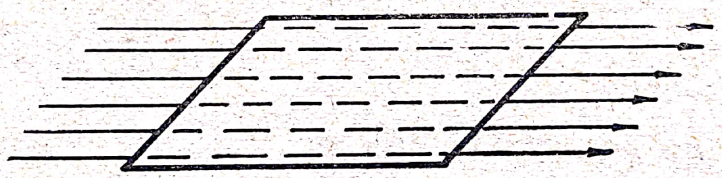


Fig. 60. Linii de forță paralele cu o suprafață.

45. Inducția magnetică. Permeabilitatea

Se numește inducție magnetică numărul de linii de forță ce trec printr'un cm² din secțiunea unui corp magnetic.

Reamintim că prin intensitatea câmpului magnetic, înțelegem numărul de linii de forță ce trec printr'o suprafață de un cm², însă în aer.

Notăm inducția magnetică printr'un corp oarecare cu B, iar intensitatea câmpului magnetic în aer cu H. Raportul între ele este permeabilitatea, pe care o notăm cu μ.

$$\mu = \frac{B}{H}$$

B se exprimă în gauși,
H se exprimă în oerstezi.

Scanned with OKEN Scanner

Permeabilitatea este deci raportul dintre numărul de linii de forță ce trec printr'o secțiune de 1 cm² a unui corp magnetic și numărul de linii de forță ce trec tot printr'un cm², dar în aer.

Permeabilitatea ne arată de câte ori un corp este mai magnetic decât aerul. Cu cât un corp are permeabilitate mai mare, înseamnă că lasă să treacă mai multe linii de forță prin el, deci este mai magnetic. O mare parte din substanțe au permeabilitatea magnetică apropiată de 1. Fierul, nichelul etc. au permeabilitatea magnetică mai mare ca unitatea. Aceste substanțe se numesc *fero-magnetice.*

Variația coeficientului de permeabilitaie

Coeficientul de permeabilitate magnetică variază cu valoarea inducției magnetice B sau, ceea ce este același lucru, cu câmpul magnetizat H.

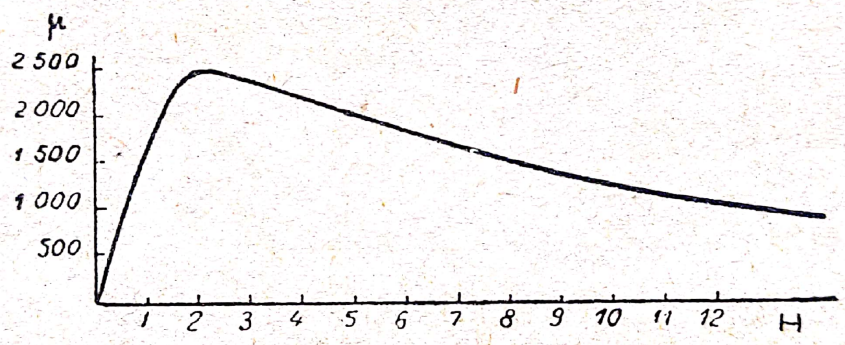


Fig. 60 a. Curba de magnetizare a fierului forjat.

Pentru fier forjat avem *(fig. 60 a)* :

H	μ
0,2	400
1	1500
2	2500
12	1000
200	100

Pentru corpurile nemagnetice (aer, cupru, lemn, etc.) $\mu = 1$.

Atunci când H devine foarte mare, μ tinde către 1 pentru toate materialele. Acesta este fenomenul de saturație magnetică. De aceea mașinile și aparatele electrice se calculează pentru o magnetizare sub limita de saturație.

Scanned with OKEN Scanner

46. Legătura între fluxul magnetic, inducţia magnetică şi susţinerea unui corp

Dacă avem un corp cu secţiunea S şi cu o inducţie B, atunci fluxul Φ este dat de formula :

$$\Phi = B \times S \text{ (maxwelli)}$$

Fluxul Φ se exprimă în maxwelli.

Inducţia B se exprimă în gauşi.

Secţiunea S a corpului străbătută de liniile de forţă se exprimă în cm^2.

Dacă cunoaştem fluxul Φ şi secţiunea S, atunci inducţia B este dată de formula :

$$B = \frac{\Phi}{S} \text{ (gauşi)}$$

Când cunoaştem fluxul Φ şi inducţia B atunci secţiunea S se află cu formula : $S = \frac{\Phi}{B}$ cm^2

Exerciţii

1. Un corp cu o secţiune de 600 mm^2 situat într'un câmp magnetic are o inducţie de 20 000 gauşi. Să se afle fluxul Φ ce străbate secţiunea corpului.

Rezolvare : $S = 600\ mm^2 = 6\ cm^2$

$\Phi = B \times S = 20\,000 \times 6 = 120\,000$ maxwelli :

2. Intr'un câmp magnetic situăm un corp cu o secţiune de 0,04 dm^2 care este străbătut de un flux de 2 000 000 maxwelli. Să se afle inducţia magnetică a corpului.

Rezolvare : $S = 0{,}04\ dm^2 = 4\ cm^2$

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{2\,000\,000}{} = 500\,000 \text{ gauşi.}$$

3. Un corp cubic este străbătut de un flux $\Phi = 450\,000$ maxwelli şi are o inducţie $B = 50\,000$ gauşi. Să se afle secţiunea corpului şi latura cubului.

Rezolvare : Secţiunea corpului (a unei feţe a cubului) este :

$$S = \frac{\Phi}{B} = \frac{450\,000}{50\,000} = 9\ cm^2$$

Latura cubului este : $L = \sqrt{9} = 3$ cm

4. O bucată de fier situată într'un câmp magnetic are o inducție magnetică de 10 500 gauși. Dacă fluxul străbate aceeași secțiune de aer avem o intensitate a câmpului magnetic de 7 oerstezi. Care este permeabilitatea μ a ferului ?

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{10\,500}{7} = 1500$$

5. Intr'un câmp magnetic de 10 oerstezi introducem o bucată de fier cu o secțiune de 800 mm². Să se afle fluxul ce trece prin fier.

Rezolvare : Din diagrama *(fig. 60 a)* care reprezintă cum variază permeabilitatea fierului în funcție de intensitatea câmpului magnetic H găsim că pentru $H = 10$ oerstezi avem o permeabilitate a fierului $\mu = 1000$.

$$B = \mu \times H = 1000 \times 10 = 10\,000 \text{ gauși}$$

$$S = 800 \text{ mm}^2 = 8 \text{ cm}^2$$

$$\Phi = B \times S = 10\,000 \times 8 = 80\,000 \text{ maxwelli.}$$

47. Proprietățile magnetice ale fierului

Experiență :

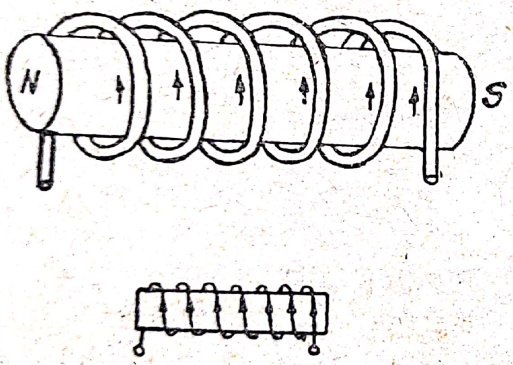


Fig. 61. Bobină cu miez de fier moale.

In figură avem o bobină de lungimea l cu n spire prin care trece un anumit curent *(fig. 61)*.

Presupunem un ac al unei busole așezat perpendicular pe axa bobinei. Facem să treacă prin bobină curentul i. El produce în interiorul bobinei câmpul magnetic H, având sensul din figură *(fig. 62)*. Așezăm busola

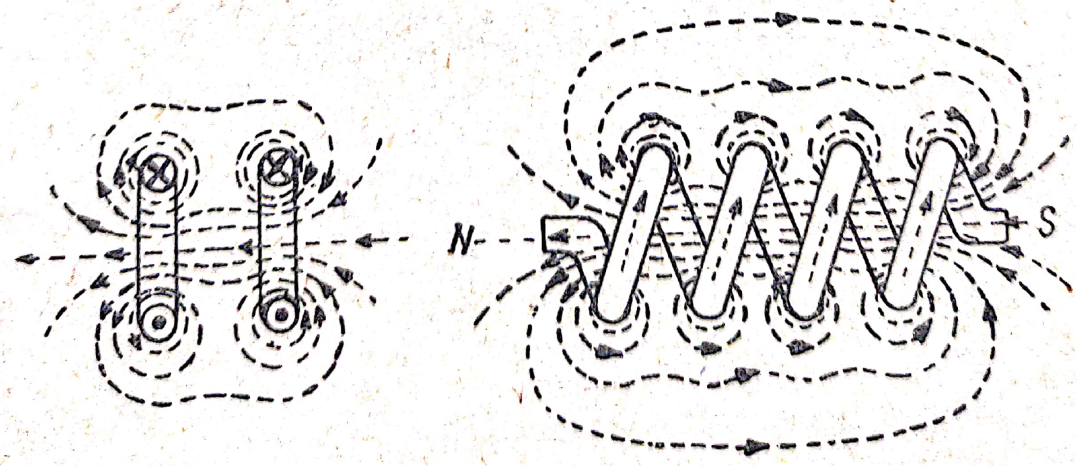


Fig. 62. Spectrul magnetic al unei bobine.

destul de departe ca să nu fie deviată de acest câmp. Întrerupem curentul și introducem o bucată de fier de secțiune egală cu a bobinei în interiorul acesteia.

Dacă facem să treacă din nou curentul în bobină, observăm că acul busolei se mișcă, având tendința să se așeze cu polul Nord în sensul câmpului *H*. Rezultă că prin introducerea fierului câmpul magnetic a crescut foarte mult. Se zice că fierul prezintă o mare *permeabilitate magnetică*.

Valoarea permeabilității depinde de constituția și tratamentul termic al fierului. Ea variază dela 2000 până la 150 000 pentru aliaje speciale de fier și nichel. Permeabilitatea anumitor corpuri este foarte apropiată de valoarea 1 (clorura de fier). Aceste corpuri se numesc *paramagnetice*. Permeabilitatea altor corpuri ca bismutul și antimoniul este mai mică decât 1 și se numesc *diamagnetice*. După cum am văzut permeabilitatea materialelor feromagnetice este foarte mare. De aceea aceste materiale se folosesc la construcția mașinilor electrice.

48. Ciclul de magnetizare Histerezis

Luăm o bară de fier și o introducem în interiorul unei bobine. Mărim apoi progresiv curentul *i*, ceea ce aduce creșterea intensității câmpului magnetic. Deoarece acest câmp produce magnetizarea fierului, el se numește și *câmp magnetizant*. Se observă că, pe măsură ce *H* crește, crește și *B*, la început mai mult și apoi din ce în ce mai puțin, până la saturație, când prezența fierului nu mai modifică efectul câmpului magnetizant *(fig. 63)*.

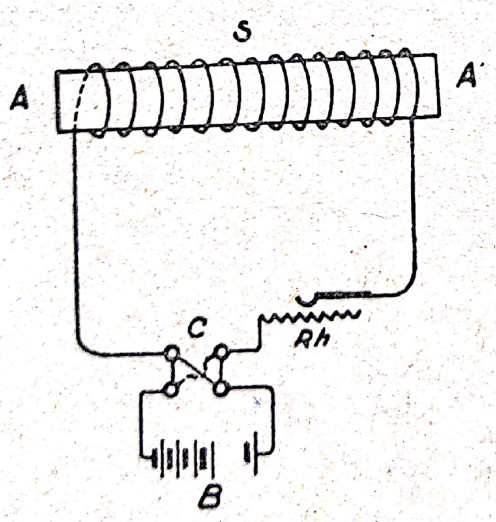


Fig. 63. Schema montajului pentru variația inducției magnetice.

Variația lui *B* este deci reprezentată prin curba *OA (fig. 64)*. Dacă de acum înainte se micșorează *H* micșorând pe *i* câmpul de inducție B scade, dar mai încet decât a crescut, astfel că, în momentul când $H = 0$, *B* are încă valoarea *OC*.

Valoarea inducției rămasă când $i = 0$ se numește *magnetism remanent*.

Pentru a demagnetiza complet bara de fier, trebue să producem un câmp magnetizant de sens contrar (ceea ce se obţine dacă inversăm curentul *i*). Când *H* are o valoare negativă egală cu *OD*, atunci $B = 0$. Această valoare a câmpului magnetizant se numeşte *forţă coercitivă*.

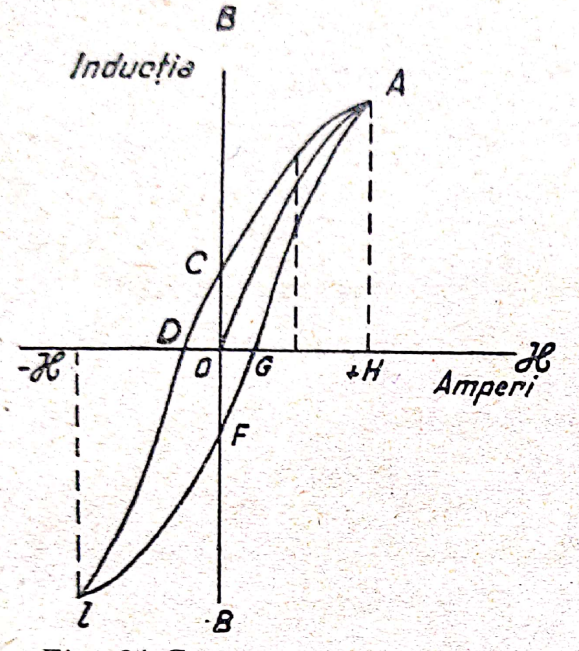


Fig. 64. Curba variaţiei inducţiei.

Mai departe, mărind pe *i*, deci valoarea lui *H* (în valori negative) se obţine curba *Dl*.

Din *l* începem să scădem valorile lui *i* până la 0, unde se obţine pentru câmpul de inducţie, valoarea lui *OF* (magnetism remanent) egal cu *OC*, (dar de sens contrar). Apoi, inversând sensul curentului şi mărind progresiv valoarea lui, se obţine ramura *GA* a curbei.

Curba închisă *ACDIFGA* se numeşte *ciclul de magnetizare*.

Suprafaţa închisă de acest ciclu reprezintă energia consumată pentru magnetizarea fierului. Cu cât suprafaţa este mai mică, cu atât fierul este de calitate mai bună din punct de

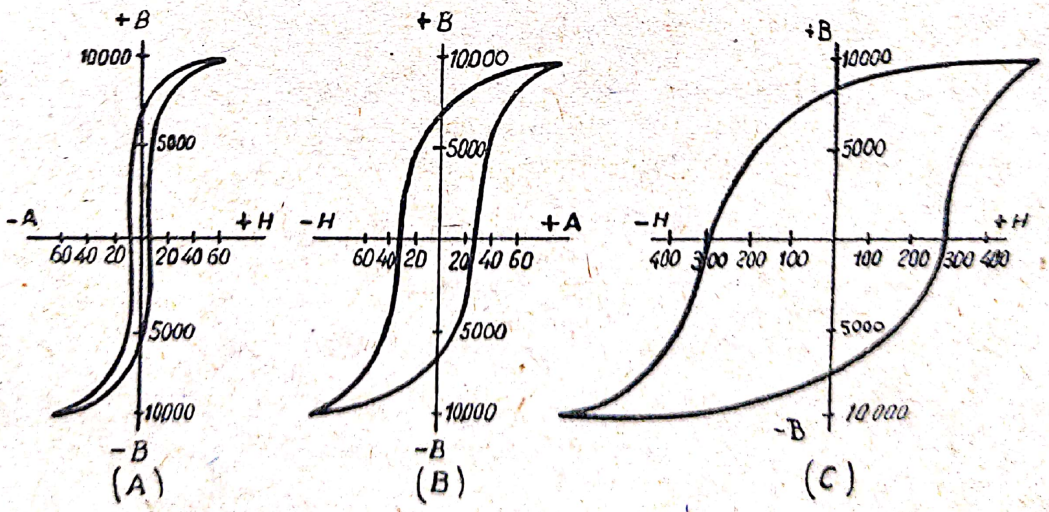


Fig. 65. Curbe de magnetizare.

vedere magnetic. In *fig. 65* şi *65 a* sunt date curbe de magnetizare diverse.

Histerezis. Am văzut mai sus că inducţia magnetică scade mai încet decât scade câmpul magnetizant.

Astfel, deşi $H = 0$, $B = OC$. Acest fenomen pe care îl prezintă fierul, de a mai păstra magnetism şi după ce a încetat câmpul magnetic ce l-a produs, se numeşte *histerezis.*

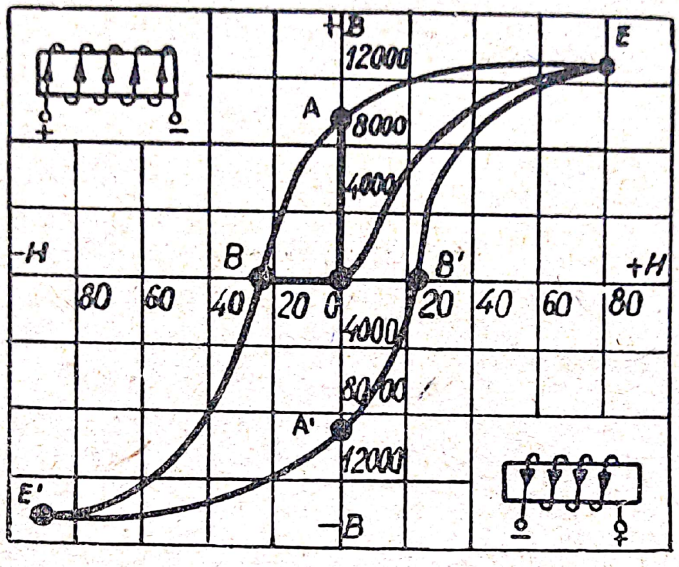


Fig. 65 a. Curbă de magnetizare.

In maşinile electrice, miezul de fier este supus la magnetizări alternative. Fenomenul de histerezis face ca ciclul de magnetizare să prezinte o suprafaţă apreciabilă şi cauzează pierderi de energie, care se manifestă prin încălzirea fierului.

Exemple

1. O bară de fier lungă de 20 cm şi având o secţiune de 4 cm² este înfăşurată cu 200 spire. Ca e este intensitatea necesară pentru a obţine în bară un flux de 40 000 maxwell ? ($\mu = 2000$)

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{40\,000}{4} = 10\,000 \text{ gauşi}$$

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{10\,000}{2000} = 5 \text{ oerstezi}$$

$$n = \frac{N}{L} = \frac{200}{20} = 10 \text{ spire/cm}$$

$$H = 1{,}256\, n\, I$$

$$I = \frac{H}{1{,}256 \times n} = \frac{5}{1{,}256 \times 10} = 0{,}4 \text{ A.}$$

2. O bobină are 80 spire pe o lungime de 40 cm şi o secţiune de 3 cm². Dacă este străbătută de un curent de 2 A se cere:

a) câmpul H în interiorul bobinei (fără fier),

b) fluxul ϕ ce traversează bobina,

c) fluxul ϕ în cazul când se introduce un miez de fier în interiorul bobinei ($\mu = 2000$).

$$n = \frac{N}{L} = \frac{80}{40} = 2 \text{ spire/cm.}$$

a) $H = 1{,}256\, n\, I = 1{,}256 \times 2 \times 2 = 5$ oerstezi,

b) $\phi = H \times S = 5 \times 3 = 15$ maxwelli ($\mu = 1$ în aer)

c) $B = \mu \times H = 2000 \times 5 = 10\,000$ gauşi ($\mu = 2000$ pentru fier)

$$\Phi = B\, S = 10\,000 \times 3 = 30\,000 \text{ maxwelli.}$$

49. Circuit magnetic. Intrefier

Circuit magnetic.

Considerăm o bară de fier $A\,B$ de lungime l introdusă într'o bobină cu N spire, străbătute de curentul I *(fig. 66)*.

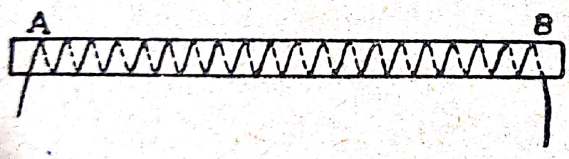


Fig. 66. Bobină cu miez de fier moale.

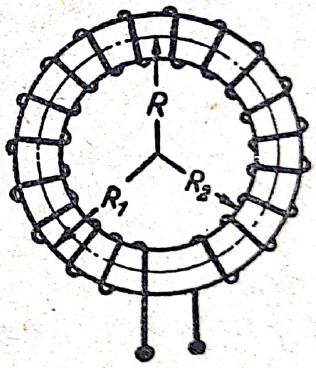


Fig. 67. Bobină în formă de inel.

Câmpul magnetizant este:

$$H = 1{,}256 \times n \times I.$$

Câmpul de inducţie magnetică este:

$$B = \mu \times H = 1{,}256 \times \mu \times n \times I.$$

Fluxul prin secţiunea S este:

$$\Phi = B\, S = 1{,}256 \times \mu \times n \times I \times S.$$

Presupunem că curbăm această bară de fier apropiind capetele astfel ca să formeze un inel *(fig. 67)*.

Liniile nu mai ies din bară. Liniile magnetice sunt curbe închise. Drumul parcurs de ele formează un *circuit magnetic.*

Fluxul este același dacă spirele în loc de a fi fost uniform repartizate pe tot miezul sunt reunite numai pe o parte *(fig. 68).*

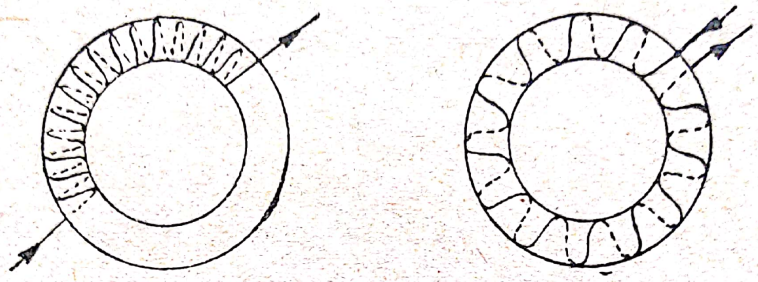


Fig. 68. Inel cu înfășurare pe o porțiune din el sau total.

Comparație între circuitul magnetic și circuitul electric

Considerăm formula: $\Phi = 1{,}256\ \mu\ n\ I\ S = 1{,}256\ \mu\ \frac{N\ I}{L} \times S$

Împărțim cu $\mu\ S$ la numărător și numitor:

$$\Phi = \frac{1{,}256\ N\ I}{\frac{L}{\mu\ S}}$$

Coeficientul 1,256 se poate reduce și la 1,25.

Notăm cu $1{,}25\ N\ I = F$ și $\frac{L}{\mu\ S} = R_m$ Formula devine

$$\Phi = \frac{F}{R_m} \text{ sau } F = R_m \times \Phi,$$

formulă analoagă cu legea lui Ohm:

$$I = \frac{E}{R_m} \text{ și } E = R_m \times I$$

F se numește forța magnetomotoare și se compară cu forța electromotoare (E). Forța magnetomotoare se măsoară în gilberți.

R_m se numește reluctanță și se compară cu rezistența

Reluctanţa are formula asemănătoare cu a rezistenţei electrice.

$$\text{Reluctanţa: } Rm = \frac{L}{\mu S}$$

$$\text{Rezistenţa electrică } R = \rho \times \frac{l}{}$$

Se vede că reluctanţa este proporţională cu lungimea circuitului magnetic şi invers proporţională cu permeabilitatea şi secţiunea circuitului magnetic.

Intrefier

Un circuit magnetic nu trece numai prin fier sau tablă magnetică ci şi printr'un mic spaţiu de aer lăsat între piesele de fier; acest spaţiu se chiamă întrefier, foarte mult întâlnit la generatoare şi motoare electrice.

Pentru a calcula fluxul, în cazul existenţei unui întrefier, va trebui să scriem valoarea reluctanţei totale, care este formată din suma reluctanţei fierului şi a întrefieru'ui, adică:

$$Rm = \frac{L}{\mu S} + \frac{e}{S}$$

Am notat cu e lungimea întrefierului. Pentrucă permeabilitatea aerului este egală cu 1, reluctanţa întrefierului este $\frac{e}{S}$

Atunci valoarea fluxului este:

$$\Phi = \frac{1{,}25 \times N \times I}{\frac{l}{\mu} + \frac{e}{S}}$$

Exerciţii

1. Un circuit magnetic are 100 spire prin care circulă un curent de 5 A. Fierul, inclusiv armatura, are o lungime de 20 cm, permeabilitatea $\mu = 1000$ şi secţiunea $S = 10$ cm².

Intrefierul are o lungime $e = 2 \times 0{,}5$ cm, permeabilitatea $\mu = 1$ (aer) şi secţiunea $S = 10$ cm² (s'a presupus 2 cm întrefier a 0,5 cm).

Să se afle:

a) forţa magnetomotoare;

b) reluctanţa întregului circuit magnetic;

c) fluxul magnetic din circuit.

Scanned with OKEN Scanner

Rezolvare :

a) Forţa magnetomotoare este dată de formula :

$$F = 1{,}25 \times N \times I = 1{,}25 \times 100 \times 5 = 628 \text{ gilberţi.}$$

b) Reluctanţa întregului circuit magnetic este formată din reluctanţa fierului la care se adaugă cea a întrefierului (aerului).

Reluctanţa fierului $\quad R_f = \dfrac{l}{\mu \times S} = \dfrac{20}{1000 \times 10} = 0{,}002$

„ întrefierului $\quad R_e = \dfrac{e}{\mu \times S} = \dfrac{1}{1 \times 10} = 0{,}1$

„ întregului circuit $R_m = R_f + R_e = 0{,}002 + 0{,}1 = 0{,}102$

c) Fluxul Φ este dat de relaţia :

$$\Phi = \frac{F}{R_m} = \frac{625}{0{,}102} = 6127 \text{ maxwelli}$$

CAP. VII. FORŢELE ELECTROMAGNETICE

50. Electromagneţi

Dacă în interiorul unei bobine se introduce o bară de fier şi apropiem pilitura de fier de bară, se observă că pilitura este puternic atrasă atât timp cât bobina este străbătută de un curent. Imediat ce curentul este întrerupt, adică de îndată ce câmpul magnetic încetează, pilitura de fier se deslipeşte şi cade.

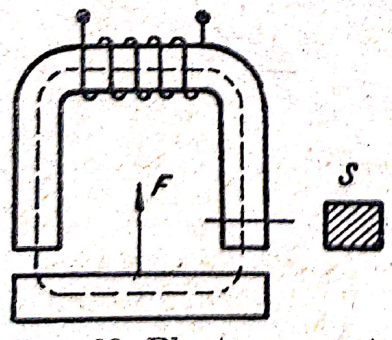


Fig. 69. Electromagnet cu armătură de fier.

Dacă introducem o bară de oţel, magnetizarea mai persistă şi după ce curentul încetează.

Şi într'un caz şi în celălalt se poate constata, cu ajutorul acului unei busole, că bara prezintă un pol Nord şi un pol Sud. Se obţine astfel un electromagnet. In general electromagneţii au formă de potcoavă. Piesa de fier atrasă de electromagnet se numeşte armatură *(fig. 69)*.

Bobinele dela cele două capete ale electromagnetului se

înfășoară cu fir în sens diferit, deci prin bobinele respective curentul va circula în sens diferit.

In *fig. 70* și *70 a* se vede un electromagnet de construcție specială: *electromagnet plonjor.*

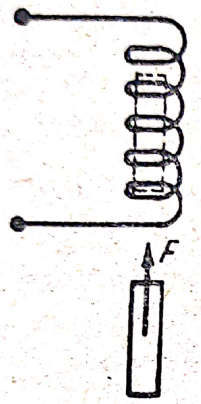


Fig. 70. Electromagnet de construcție specială

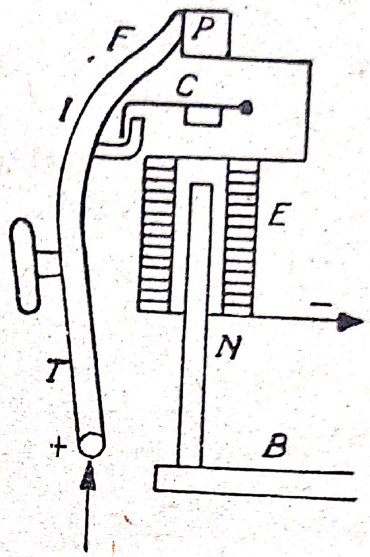


Fig. 70 a. Electromagnet de construcție specială.

Atunci când curentul străbate bobina, sâmburele pătrunde în bobină și cade atunci când curentul se întrerupe.

Utilizarea electromagneților este foarte mare în construc-

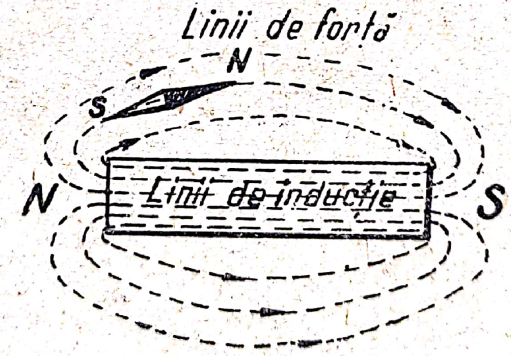


Fig. 71. Câmpul magnetic al unui magnet în formă de bară.

ția întrerupătoarelor automate, pentru protejat motoarele contra curenților de intensități prea mari.

In *fig. 71* și *71 a* se vede câmpul magnetic al unui electromagnet în formă de bară, iar în *fig. 72* se vede câmpul unui electromagnet în formă de potcoavă.

Scanned with OKEN Scanner

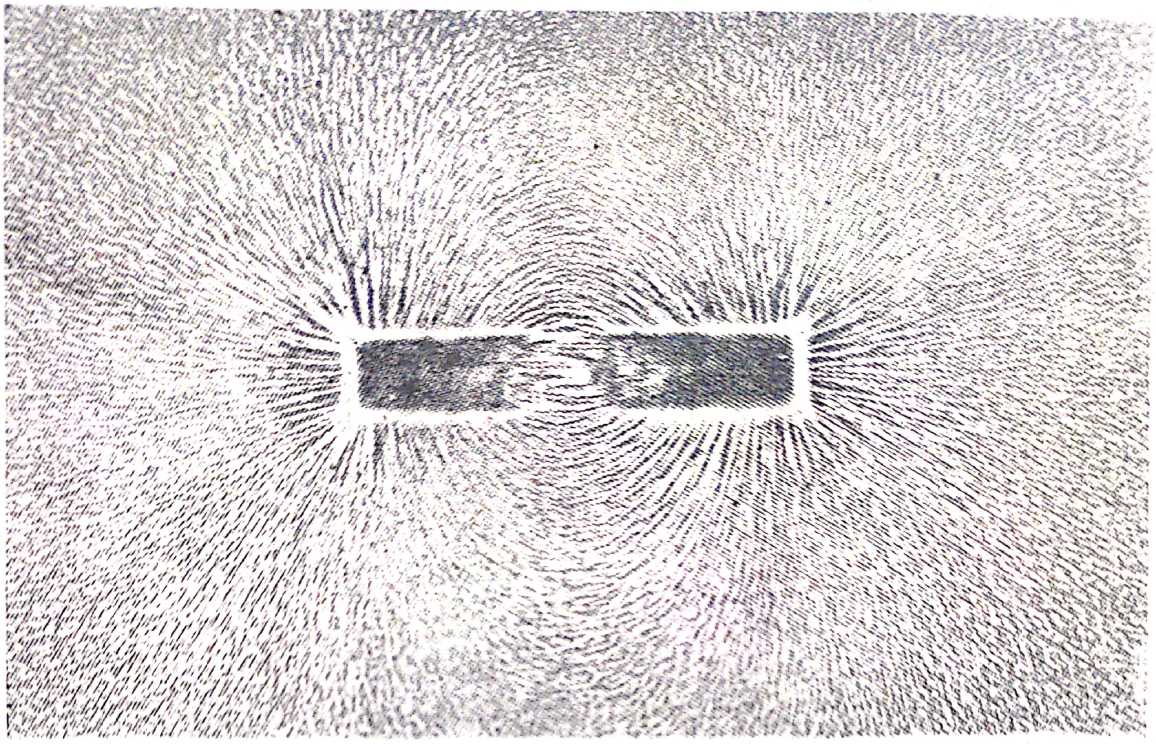


Fig. 71. a. Spectrul magnetic al unei bare magnetice.

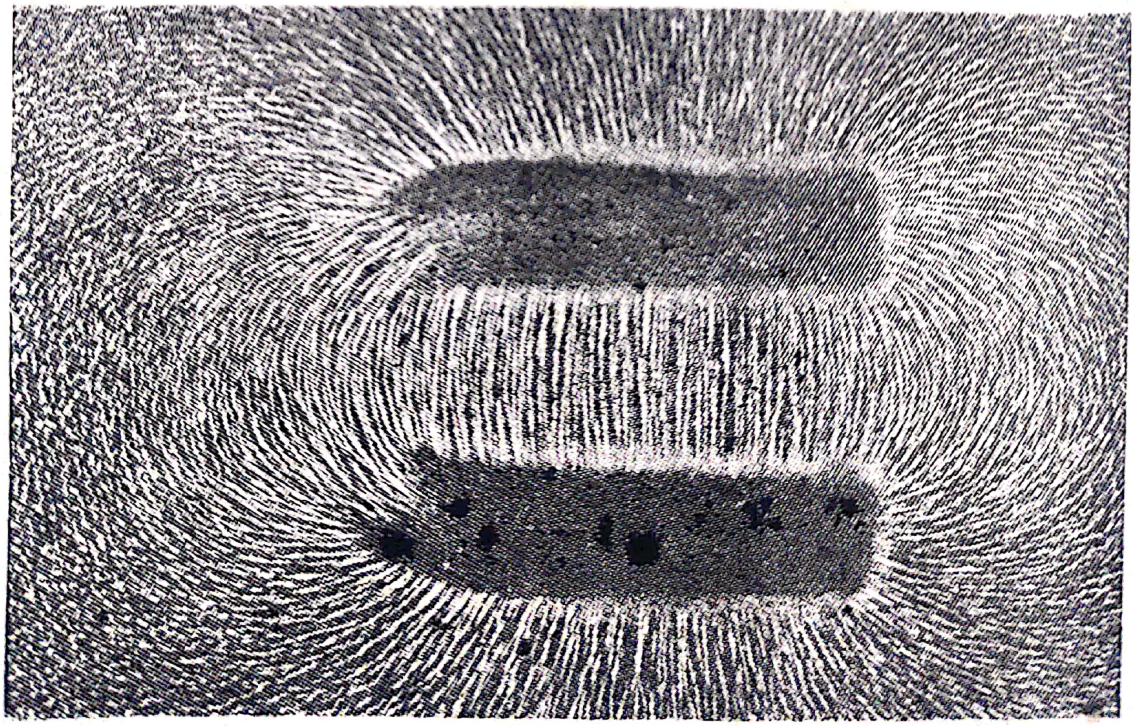


Fig. 72. Spectrul magnetic al unui magnet în formă de potcoavă.

Scanned with OKEN Scanner

51. Forţa portantă a electromagnetului

Se numeşte *forţă portantă* greutatea maximă ce poate fi atârnată de armatură fără ca ea să se desprindă de electromagnet.

Dacă se notează cu B inducţia magnetică şi cu S suprafaţa unei feţe polare, avem următoarea formulă pentru forţa portantă:

$$F = 2\left(\frac{B}{5000}\right)^2 \times S \text{ (kg)}.$$

Exerciţii

1. Un electromagnet în formă de potcoavă are o lungime a circuitului magnetic (inclusiv armatura) de 50 cm şi o secţiune de 4 cm². El are o bobină cu 200 spire şi esre străbătut de un curent 3 A. Permeabilitatea fierului este $\mu = 1000$. Care este forţa portantă a electromagnetului?

Rezolvare:

$$n = \frac{N}{I} = \frac{200}{20} = 5 \text{ spire/cm}.$$

$$\Phi = 1{,}25 \times n \times I \times \mu \times S =$$

$$1{,}25 \times 4 \times 3 \times 1000 \times 4 = 60\,000 \text{ maxwelli}$$

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{60\,000}{4} = 15\,000 \text{ gauşi}$$

$$F = 2 \times \left(\frac{15\,000}{5\,000}\right)^2 \times 4 = 72 \text{ kg}.$$

2. In cazul electromagnetului de mai sus, dacă se cere se se ţină seamă de un întrefier de 0,05 cm între armatură şi sâmbure, se cere care este fluxul ce străbate fierul.

Rezolvare:

$$\Phi = \frac{1{,}25\,N\,I}{\frac{l}{\mu\,S} + \frac{e}{S}} = \frac{1{,}25 \times 200 \times 3}{\frac{49{,}9}{1000 \times 4} + \frac{2 \times 0{,}05}{4}} = \frac{1{,}25 \times 200 \times 3 \times 4}{0{,}0499 + 0{,}1} =$$

$$= 20\,000 \text{ maxwelli}.$$

Scanned with OKEN Scanner

52. Alte aplicaţii industriale ale electromagnetului. Microfon, relee, sonerie

Microfonul şi telefonul servesc pentru transmiterea sunetelor la distanţă. Cu ajutorul microfonului transmitem sunetele, iar prin telefon le prindem, (le recepţionăm).

Microfonul

Microfonul în principiu şi sub forma cea mai simplă, *(fig. 73)* se compune dintr'un baston de cărbune de retortă ascuţit la capete ce se sprijină în două scobituri făcute în suporturile de cărbune *S* fixate pe o placă subţire de lemn *P*. Suporturile *S* sunt în legătură prin firele *f* cu circuitul în care se află o baterie şi telefonul, Când vorbim în faţa plăcii *P*, aceasta vibrează şi transmite vibraţiile suporturilor *S*, iar acestea, apăsând mai tare sau mai slab asupra bastonului de cărbune *B*, modifică contactele cărbunelui *B* în lăcaşurile lui din suporturi. Prin modificarea contactului se modifică rezistenţa electrică a circuitului şi deci intensitatea curentului ce trece prin el. Modificările se fac exact după vibraţiile vorbirii, aşa încât curentul devine ondulatoriu şi poate reproduce vorbirea prin intermediul plăcii telefonului care vibrează ca şi microfonul.

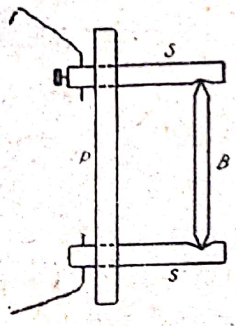


Fig. 73. Microfonul — principiul —.

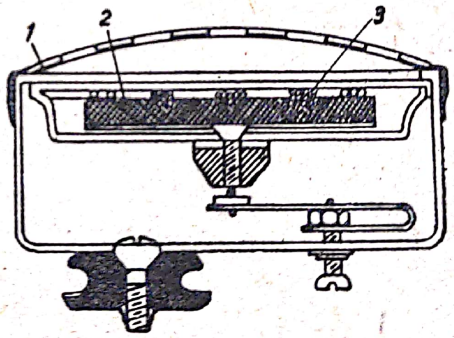


Fig. 74. Microfonul.

Un microfon mai perfecţionat este microfonul arătat în *fig. 74*, care se compune dintr'o placă de cărbune *2* ce are la partea superioară nişte scobituri radiale în care se toarnă praf de cărbune *3*. Deasupra se află o altă placă subţire de cărbune, numită membrană *1*. Ea este fixată elastic la o cutie în care se află toate dispozitivele de mai sus. Circuitul electric se leagă cu un capăt de membrană, iar cu celălalt capăt de placa cu scobituri radiale şi se închide prin mijlocirea prafului de

Scanned with OKEN Scanner

cărbune ce se află în scobituri. Când vorbim în faţa membranei, aceasta vibrând, apasă mai mult sau mai puţin asupra prafului de cărbune, modificând rezistenţa electrică a circuitului şi prin aceasta intensitatea curentului.

Fiecărei vibraţii a aerului, provocată de vorbire, îi corespunde o variaţie asemănătoare a curentului din circuit, care prin variaţia lui face să vibreze întocmai membrana telefonului reproducând astfel sunetele transmise.

Majoritatea microfoanelor moderne sunt constituite aşa cum s'a arătat mai sus. Rezistenţa variază între 30 şi 50 ohmi, dacă sunt utilizate la tensiuni între 2 şi 4 volţi, şi este de 60 — 500 ohmi în cazul tensiunilor de 10 — 30 volţi, cum este cazul la microfoanele cu baterie centrală.

In anumite cazuri, se utilizează microfoane foarte sensibile, ceea ce se realizează prin micşorarea grosimii membranei, precum şi a tuturor dimensiunilor. Rezistenţa lor atinge cca. 400 Ω şi pot fi utilizate pentru sunete emise la o distanţă de peste 10 m.

Microfoanele sunt montate, în general, în nişte capsule demontabile care se aşază într'o cutie prevăzute cu un cornet pentru culegerea undelor.

In radiotelefonie, precum şi în alte cazuri, se întrebuinţează microfoane speciale, cum ar fi microfonul tip Reisz, microfonul cu condensator, cu bandă sau cu bobină plonjantă.

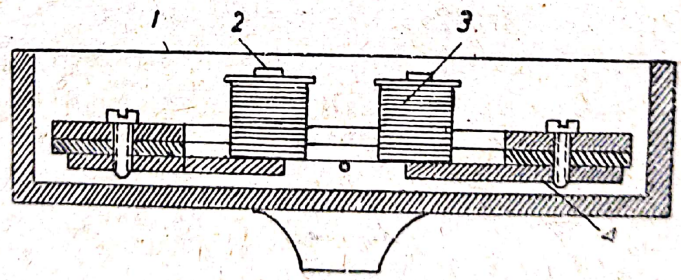


Fig. 75. Telefonul.

Telefonul *(fig. 75)* se compune dintr'un magnet permanent puternic *4* pe a cărui poli sunt fixaţi electromagneţi *1-2*, ale căror bobine *3* sunt legate în circuitul microfonului. La o mică distanţă de electromagnet este fixată membrana elastică de fier *1*.

Când intensitatea curentului din bobine creşte, câmpul magnetic devine mai puternic şi atrage membrana cu putere. Când intensitatea curentului scade, câmpul magnetic devine

mai slab și membrana se depărtează de electromagneți datorită elasticității ei.

Deci vibrațiile membranei urmează întocmai variațiile curentului din bobină. Modul de transmitere al sunetelor prin sistemul microfon-telefon este următorul:

Microfonul este legat în același circuit cu telefonul și cu un generator electric de curent continuu. Membrana telefonului vibrează la fiecare variație de curent, produsă cum am arătat de microfon. Vibrațiile membranei fiind aceleași ca și la microfon vom auzi reproduse aceleași sunete.

Microfonul și telefonul se asociază într'un singur aparat numit *microtelefon.*

Relee

Altă întrebuințare a electromagneților este pentru relee.

Un releu este un aparat automat care se montează într'un circuit electric.

La apariția unui accident, cum ar fi un scurt-circuit, intensitatea curentului se mărește și, trecând prin electromagnetul releului, îl face să atragă cu putere un dispozitiv care printr'un sistem de mecanisme acționează un întrerupător ce întrerupe circuitul.

Soneria electrică

Soneria electrică se compune dintr'un electromagnet *E (fig. 76)* care poate atrage o bucată de fier moale. Fierul *F* se continuă prin ciocănașul *C* care poate lovi în clopotul *K.*

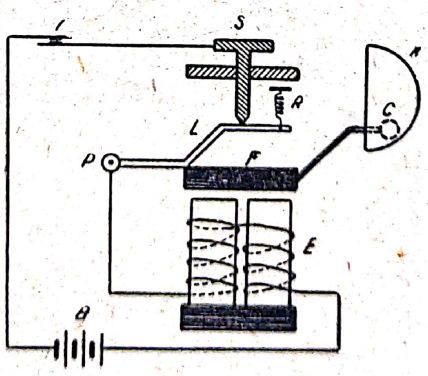


Fig. 76. Soneria electrică.

Tot pe bucata de fier este lipită lama elastică *L*, care se atinge de un șurub metalic *S*. Lama este lipită de șurub prin resortul *R*.

Scanned with OKEN Scanner

Circuitul electric este alimentat de bateriile *B*. Un capăt al circuitului se leagă la bobinele electromagnetului *E* și după ce trece prin ele se leagă la șurubul *S*.

In circuit se află întrerupătorul *I* (butonul de sonerie) pe care dacă apăsăm se închide circuitul și soneria sună. Forma unui buton de sonerie se poate vedea în *fig. 77*. Funcționarea soneriei se explică astfel :

Când apăsăm pe întrerupătorul *I* circuitul se închide, se formează un curent ce pleacă dela bateria *B*, trece prin șurubul *S*, lama elastică *L*, bobinele electromagnetului *E* și se întoarce la celălalt pol al bateriei.

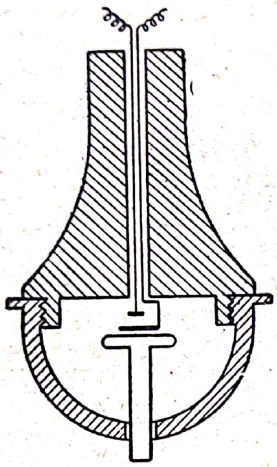


Fig. 77. Butonul de sonerie.

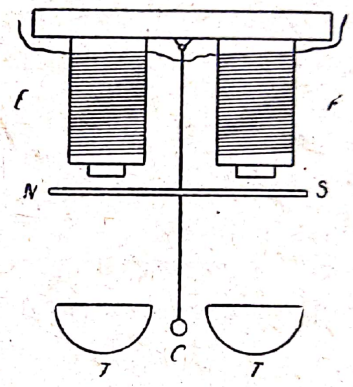


Fig. 77 a. Soneria polarizată.

La trecerea curentului prin electromagnet, acesta se magnetizează și atrage bucata de fier moale *F*, care învingând tensiunea resortului *R* se depărtează de șurubul *S*.

Prin această mișcare, lama izbește clopoțelul prin ciocănașul *C* și totodată, depărtându-se de șurubul *S*, circuitul electric se deschide, curentul nu mai circulă și electromagnetul nu mai atrage lama elastică, care este trasă înapoi de resortul *R*, făcând iar contact cu șurubul *S*. Circuitul se restabilește și curentul, circulând iar prin electromagnet, fierul moale va fi iar atras și ciocănașul va lovi iar clopotul. Fenomenul se repetă mereu la fel și soneria sună cât timp ținem întrerupătorul *I*, adică atât timp cât apăsăm pe buton.

Soneria polarizată

Această sonerie funcționează în curent alternativ și se folosește în special pentru apeluri telefonice *(fig. 77 a)*.

Ea este formată din bobinele electromagnetice *E* și *F*

legate între ele şi din magnetul permanent $N\,S$ fixat pe o tijă la capătul căreia este ciocănelul C, care poate lovi în clopotele T şi T'.

Când un curent alternativ de frecvenţă slabă trece prin bobine, magnetul $N\,S$ este atras în mod alternativ când de un pol când de celălalt pol al electromagneţilor şi ciocănelul loveşte în clopotele T şi T'.

Montaje diverse

Unul din montajele cele mai utilizate este acela în care putem acţiona o singură sonerie dela mai multe butoane situate în locuri diferite.

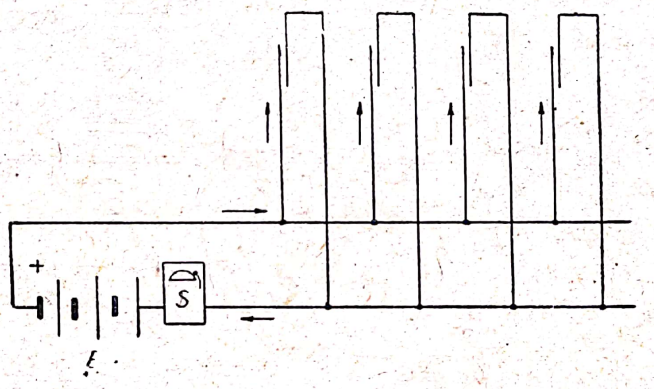


Fig. 78. Acţionarea unei sonerii dela mai multe butoane.

Montajul acesta se vede în *fig. 78.*

Dela un pol al pilelor electrice E porneşte un fir care trece prin sonerie şi de aici se îndreaptă către locurile de unde vrem să se acţioneze soneria. Celălalt pol al pilelor merge direct către aceleaşi locuri, unde se vor aşeza întrerupătoarele. Când apăsăm pe oricare din întrerupătoare circuitul se închide şi soneria sună.

53. Acţiunea câmpului magnetic asupra unui conductor mobil străbătut de curent electric

Se constată de asemenea că şi între un magnet fix şi un conductor mobil, străbătut de un curent electric, aşezat în câmpul acestui magnet, se exercită acţiuni. Conductorul mobil se deplasează paralel cu el însuşi şi perpendicular pe liniile de forţă după regula următoare:

Dacă ţinem mâna stângă cu palma astfel ca liniile de

forţă să intre prin podul palmei şi degetul arătător să fie în sensul curentului, atunci direcţia degetului mare ne arată deplasarea conductorului *(fig. 79)*.

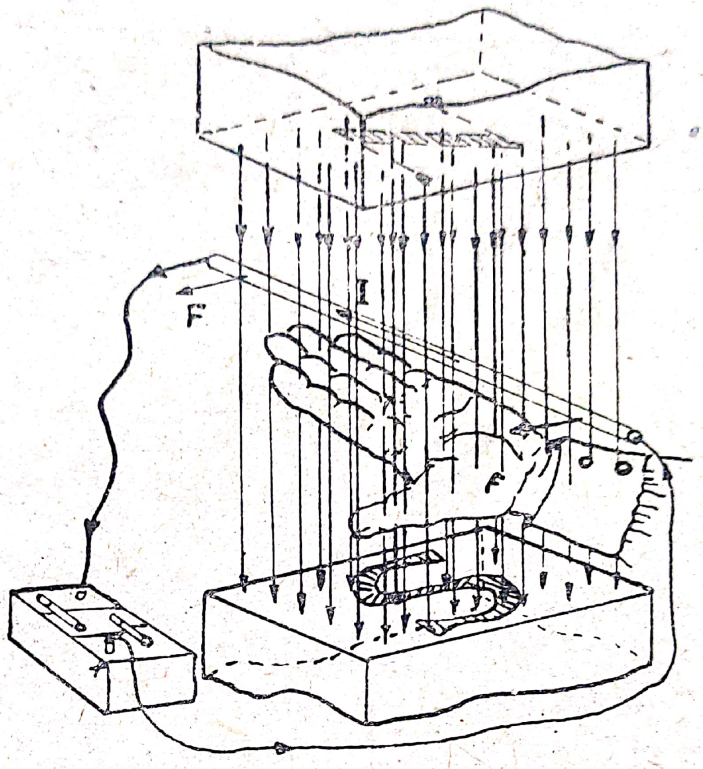


Fig. 79. Acţiunea câmpului magnetic asupra unui conductor mobil străbătut de curent electric.

In *fig. 79 a* se vede că liniile de forţă proprii ale conductorului aşezat între polii magnetului se adună de o parte

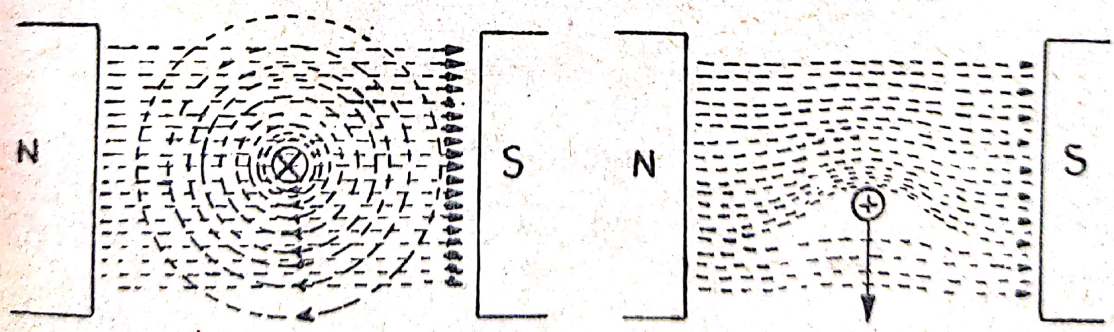


Fig. 79 a. Liniile de forţă proprii ale conductorului străbătut de un curent şi care se găseşte într'un câmp magnetic.

(sus) şi se scad de alta (jos) din liniile de forţă ale câmpului exterior şi astfel se produce deplasarea conductorului în jos sau invers dacă se schimbă sensul curentului.

Scanned with OKEN Scanner

In *fig. 80* se vede câmpul magnetic rezultant (realizat cu pilitură de fier) în cazul unui conductor plasat între doi poli *N* şi *S*.

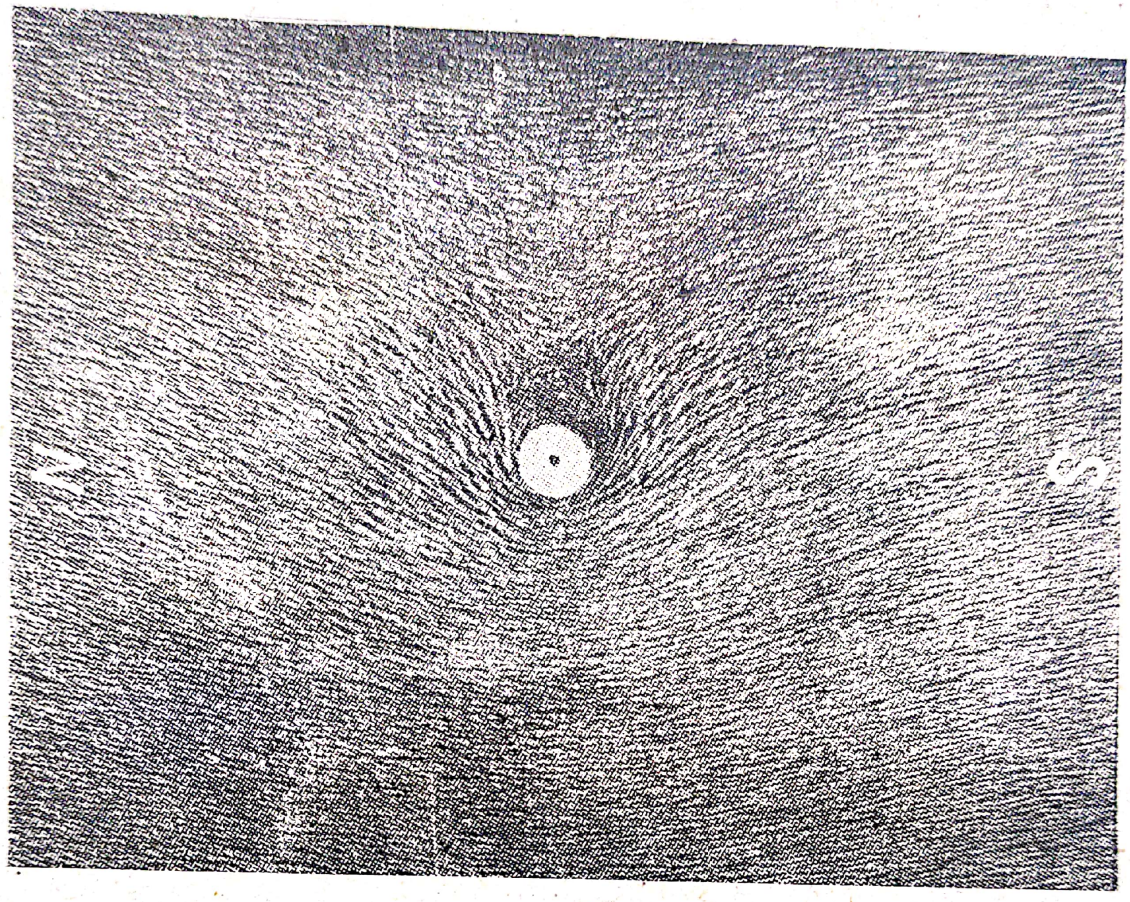


Fig. 80. Spectrul magnetic al unui conductor parcurs de un curent electric şi plasat între doi poli *N* şi *S*.

54. Formula forţei electromagnetice

Formula forţei electromagnetice care acţionează asupra unui conductor de lungime *l* cm, plasat într'un câmp de inducţie magnetică *B* şi parcurs de curentul *I* se calculează cu ajutorul formulei

$$F = \frac{B \times I \times l}{10 \times 981\,000} \text{ kg} \approx B \times I \times l \times 10^{-7} \text{ kg}$$

unde : *B* este câmpul de inducţie exterior (gauşi),
I este curentul (amperi),
l este lungimea conductorului străbătut de curent (cm).

Scanned with OKEN Scanner

Când acţiunea se produce în aer $B = H$ căci $\mu = 1$. Formula devine $F = H \times I \times l \times 10^{-7}$ kg.

In concluzie putem enunţa următoarea lege, numită *legea lui Laplace*: „Orice element de circuit străbătut de un curent este supus la o forţă numită forţă electromagnetică. Această forţă este perpendiculară pe câmp şi element şi are sensul dat de regula mânii stângi".

Exemplu: Forţa ce acţionează asupra unui conductor lung de 20 cm prin care trece un curent de 15 A şi e plasat într'un câmp magnetic de $B = 10\,000$ gauşi este

$$F = 10\,000 \times 15 \times 20 \times 10^{-7} = 3 \times 10^{6} \times 10^{-7} = 0{,}3 \text{ kg}.$$

55. Acţiunea câmpului magnetic asupra unei spire

Presupunem o spiră străbătută de un curent I şi aşezată între cei doi poli ai unui electromagnet. Spira este înfăşurată pe un miez de fier în formă de cilindru scurt, care are rolul să micşoreze reluctanţa circuitului magnetic. Intrefierul să fie cât mai mic, pentru ca valoarea intensităţii câmpului ce acţionează asupra conductorilor să fie cât mai mare.

Sensul forţelor se determină uşor dacă ţinem seama de cele spuse mai sus (îndesarea şi rărirea liniilor de forţă sau regula mânii stângi).

Spira se va roti spre dreapta sau spre stânga după sensul curentului în spiră. Modificarea sensului de rotire al spirei se poate obţine şi dacă se schimbă polii. Pe acest principiu se construesc motoare electrice.

Experienţă

Se realizează montajul din *fig. 81* unde avem:

— două bare orizontale de cupru $A\,A'$ şi $B\,B'$ aşezate paralel într'un plan orizontal. Barele sunt suficient de groase pentru ca rezistenţa lor electrică să fie mică;

— o baterie de acumulatoare la care se leagă capetele lor A şi B;

— o bară de cupru cilindrică $M\,N$ aşezată pe barele $A\,A'$ şi $B\,B'$ astfel ca să se poată rostogoli.

— un electromagnet cu polul N plasat deasupra planului barelor şi cu polul sud dedesubt, astfel ca să avem un câmp de inducţie magnetică B având direcţia verticală ca în *fig. 81*.

Scanned with OKEN Scanner

Închidem întrerupătorul K astfel ca în circuit să avem un curent. Observăm că, bara MN începe să se rostogolească spre stânga, ceea ce probează că este supusă la o forță F. Dacă

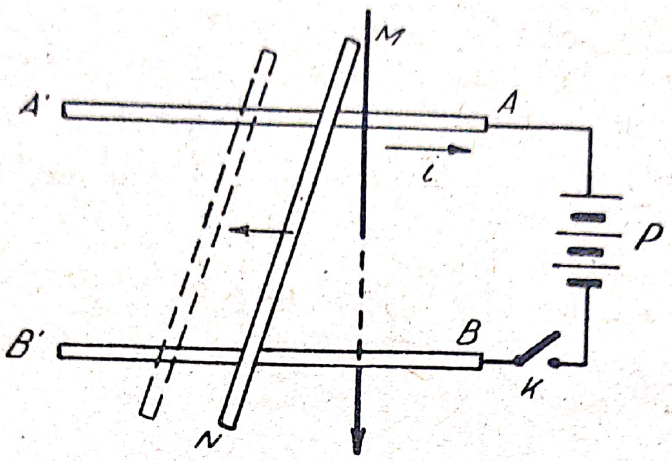


Fig. 81. Schema montajului experienței.

schimbăm sensul curentului i (inversăm legăturile la bornele bateriei de acumulatoare) dar păstrăm același sens al câmpului magnetic B observăm că bara MN se rostogolește spre dreapta. Forța F, care produce deplasarea conductorului, se numește *forță electromagnetică.*

56. Alte experiențe relative la acțiunea unui câmp magnetic, asupra unei porțiuni mobile a unui circuit străbătut de curent

Vom descrie câteva experiențe care permit să se verifice acțiunea câmpului magnetic asupra unui curent și sensul forței electromagnetice.

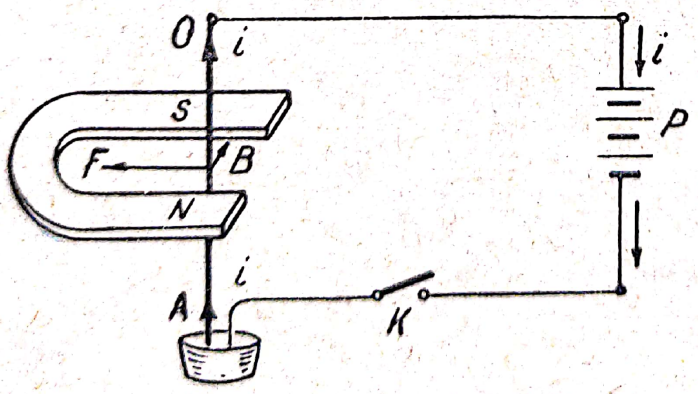


Fig. 82. Acțiunea unui câmp magnetic asupra unei porțiuni de circuit mobil străbătut de curent.

Experiența 1

In câmpul orizontal între brațele unui magnet în formă de potcoavă NS se așază un fir de cupru OA vertical, mobil în toate sensurile, în jurul punctului O, care în A se așează într'un vas cu mercur *(fig. 82).*

Dacă dela bateria P se trimite (închizând întrerupătorul K) un curent i în circuit, firul de cupru OA este deplasat într'o direcţie perpendiculară pe planul direcţiei câmpului B (orizontal) şi pe fir. Sensul în care este deplasat firul este acela al forţei electromagnetice F, care se produce. Sensul forţei F depinde de sensul lui B şi de sensul curentului i.

Dacă întoarcem magnetul astfel ca polul N să fie în locul polului S şi invers, sau inversăm sensul curentului i, firul se deplasează spre dreapta.

In fine, dacă inversăm în acelaş timp atât sensul câmpului B cât şi sensul curentului, firul se deplasează tot spre stânga, ca la începutul experienţei.

Experienţa 2 Roata Barlow

Roata Barlow se compune dintr'un disc metalic care se poate roti în jurul axului O. Partea inferioară a discului se scufundă puţin într'un vas cu mercur. Discul se găseşte montat între braţele unui magnet, care produce un câmp de inducţie magnetică B, îndreptat dela N la S. Dacă dela bateria P se alimentează cu un curent electric, vedem că discul începe să se rotească.

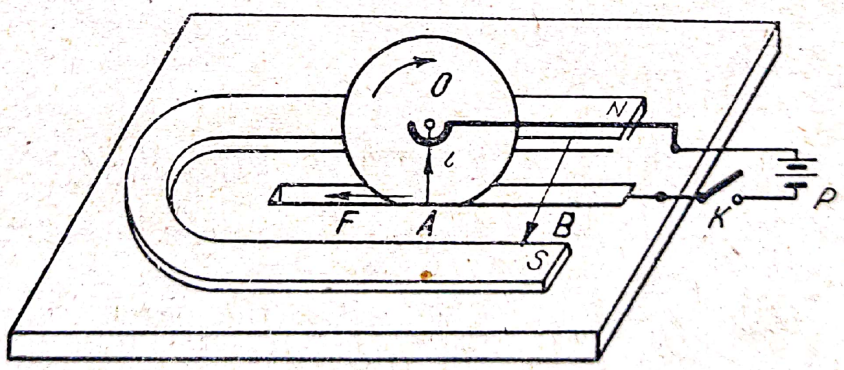


Fig. 83. Roata Barlow.

Fenomenul se înţelege uşor, deoarece în disc avem un fir de curent i dela A la O, aşa cum se vede în *fig. 83*. Sensul rotirii se află determinând sensul forţei ce acţionează asupra acestor curenţi. Pentru B şi i având sensurile din figură forţa electromagnetică este îndreptată spre stânga. Această forţă va produce rotirea discului spre dreapta.

Scanned with OKEN Scanner

Experienţa 3

In dispozitivul imaginat de Faraday, câmpul magnetic B este produs de un magnet în forma de bară NS, aşezat vertical. Porţiunea mobilă a circuitului este constituită de trei fire drepte AB, $A'B'$ şi BB', care se sprijină pe un pivot metalic ON, în jurul căruia se poate roti cadrul AB şi $B'A'$. Pivotul ON este scufundat (la capătul N) într'un vas cu mercur montat axial pe capătul magnetului. Cu ajutorul acestor contacte de mercur (A, A' şi N) se poate trimite curent în cadru, fără a se întrerupe rotaţia cadrului,

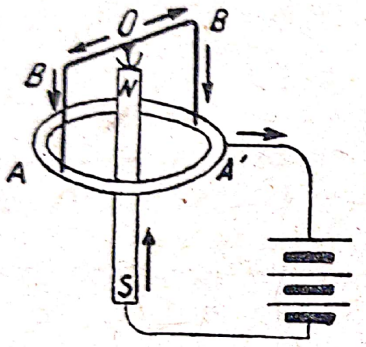


Fig. 84. Dispozitivul imaginat de Faraday.

Să aplicăm legea lui Laplace (legea forţei electromagnetice) curenţilor drepţi OB, BA, OB', $B'A'$. Forţele exercitate sunt toate perpendiculare pe planul cadrului şi fiecare tinde să rotească cadrul în jurul lui ON. In cazul sensurilor pentru câmp şi curenţi, din *fig. 84* se vede că asupra lui AB şi BO acţionează câte o forţă electromagnetică îndreptată spre înapoi, iar asupra lui $A'B'$ şi $B'O'$, spre înainte. Aceste forţe produc un cuplu, care rotesc cadrul.

Vedem că experienţa verifică legea lui Laplace, cadrul se roteşte cu o mişcare continuă şi în sensul dat de regulă.

57. Acţiunea unui curent asupra propriului său circuit

Un circuit străbătut de un curent este totdeauna aşezat în propriul său câmp magnetic: Chiar dacă nu avem un câmp magnetic străin (exterior) avem cel puţin câmpul creat de curent însuşi.

Experienţă

Ampère a imaginat următoarea experienţă. El a construit o cutie prevăzută cu două şanţuri R şi R' orizontale, izolate între ele, în care a pus mercur. Prin bornele M şi N cele două mase de mercur pot fi puse în comunicare fiecare cu un pol al unei surse de curent. Un fir de cupru îndoit ca un pod, permite trecerea curentului dela un şanţ cu mercur la celălalt.

Acest fir de cupru poate pluti la suprafața mercurului. Când se stabilește curentul la bornele *N* și *M*, observăm că firul *AB* se deplasează în sensul săgeții *f* (*fig. 85*).

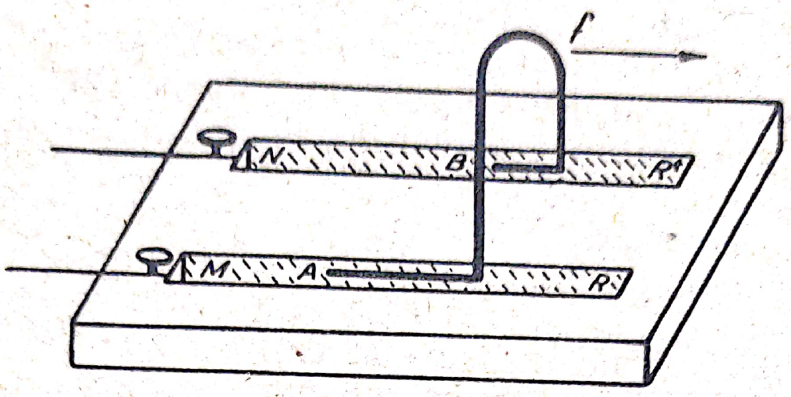


Fig. 85. Dispozitivul imaginat de Ampère.

58. Acțiunea reciprocă a curenților electrici

Experiență

Luăm două fire și le legăm la un circuit electric, astfel încât prin ele să treacă curenți de același sens (*fig. 86*). Vedem că firele se vor apropia unul de celălalt, după cum se vede în partea punctată a desenului.

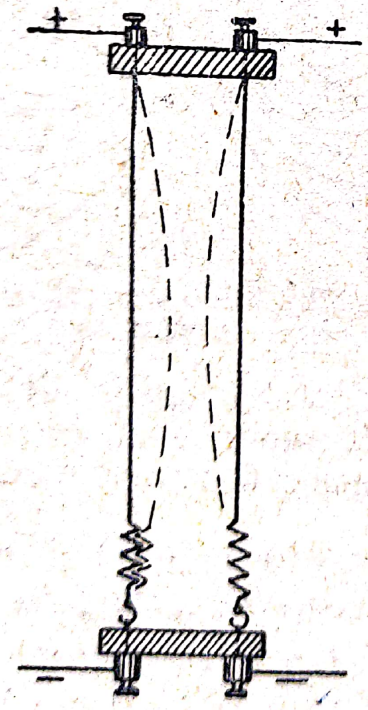


Fig. 86. Acțiunea reciprocă a curenților electrici.

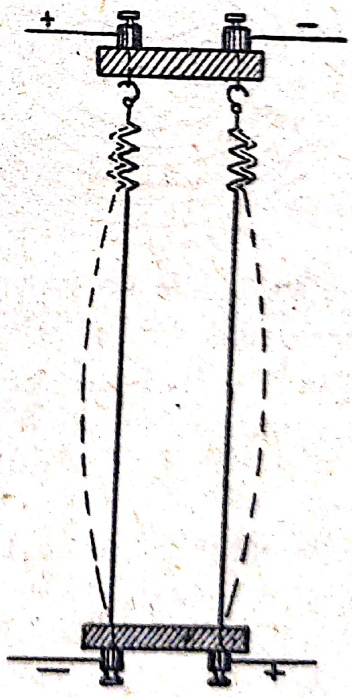


Fig. 87. Acțiunea reciprocă a curenților electrici.

Facem ca prin aceste fire să treacă curenţi de sens contrar *(fig. 87)*. Firele se vor îndepărta unul de celălalt.

De aici deducem următoarea regulă: *curenţii de acelaşi sens se atrag, iar cei de sens contrar se resping.*

Dacă conductorii în loc să fie paraleli, fac între ei un unghiu, când va trece curentul ei se vor mişca astfel încât să devină paraleli şi în acelaşi sens. Aceste acţiuni ale curenţilor între ei sunt datorite câmpurilor magnetice produse în jurul curenţilor.

Luăm o bucată de hârtie pe care o străpungem cu cei doi conductori, ţinând-o perpendicular pe el, şi presărăm pe hârtie pilitură de fier. Lăsând să treacă curenţii prin conductori, constatăm cu ajutorul piliturii că, în cazul curenţilor de acelaşi sens, liniile de forţă au forma din *fig. 88*, iar în cazul curenţilor de sens contrar, liniile de forţă au forma din *fig. 89*.

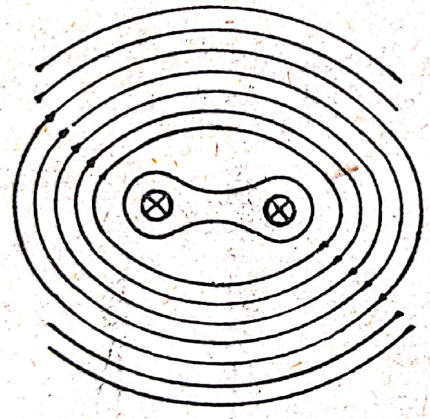


Fig. 88. Liniile de forţă ale curenţilor de acelaşi sens.

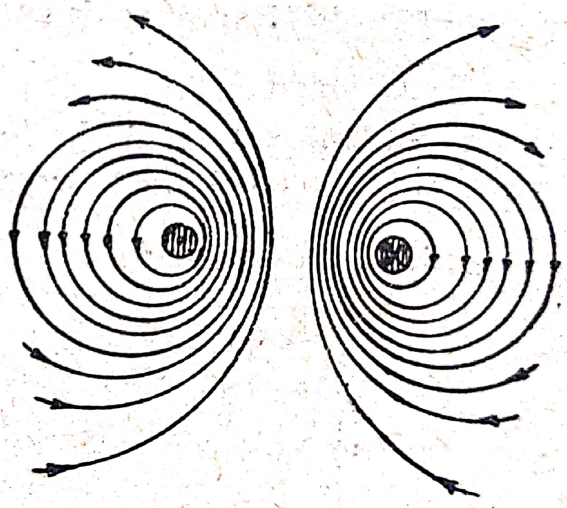


Fig. 89. Liniile de forţă ale curenţilor de sens contrar.

Explicaţia este următoarea: In *fig. 88* liniile de forţă devin comune pentru ambii curenţi şi apropie conductorii între ei. In *fig. 89* liniile de forţă, sunt de sens contrar se resping, deci resping şi conductorii între ei,

Pe baza acţiunii câmpului magnetic asupra unui curent mobil şi pe baza acţiunii reciproce a curenţilor, se construesc o mare parte din instrumentele de măsură.

Scanned with OKEN Scanner

CAP. VIII. INDUCȚIA ELECTROMAGNETICĂ

Am văzut că un curent electric produce în jurul conductorului prin care circulă un câmp magnetic. Faraday și-a pus întrebarea dacă nu se poate obține curent electric cu ajutorul câmpului magnetic. Astfel a ajuns ca în 1831 să stabilească legea inducției.

59. Producerea f. e. m. de inducție prin mișcarea unui conductor într'un câmp magnetic

Dacă luăm un conductor și îl mișcăm într'un câmp magnetic, astfel încât să taie liniile de forță ale acestuia, în conductor ia naștere o forță electromotoare.

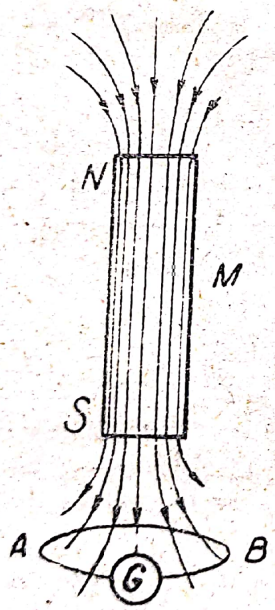


Fig. 90. Mișcarea conductorului *A B* într'un câmp magnetic.

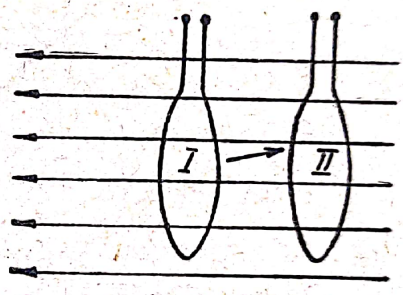


Fig. 91 a. Mișcarea unei spire fără variație de flux.

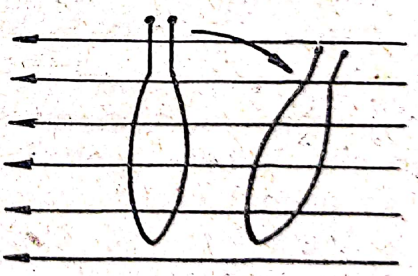


Fig. 91 b. Mișcarea unei spire cu variație de flux.

A tăia linii de forță înseamnă: a mișca conductorul în interiorul câmpului, astfel încât numărul de linii de forță cuprinse în circuitul conductorului (fluxul) să varieze dela un moment la altul.

Dacă conductorul se mișcă fără să taie linii de forță, atunci nu se produce o forță electromotoare.

Experienţă

Luăm un conductor şi îl situăm în câmpul magnetic cuprins între polii unui magnet *(fig. 92)*. Conductorul face parte dintr'un circuit închis în care am introdus un miliampermetru (instrument pentru măsurat intensităţi mici de curent). Dacă deplasăm conductorul în sus, respectiv în jos, acesta taie li-

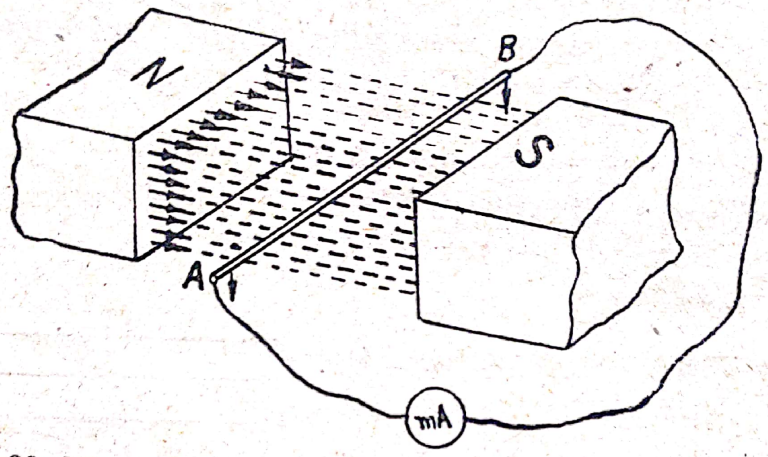


Fig. 92. Mişcarea unui conductor într'un câmp magnetic.

niile de forţă ale câmpului magnetic; numărul de linii de forţă tăiat de planul circuitului variază dela o poziţie la alta a acestuia. Constatăm că acul miliampermetrului deviază, deci un curent circulă prin conductor.

Dacă mişcăm conductorul la dreapta sau la stânga, sau dacă îl ţinem pe loc, acul miliampermetrului rămâne la zero, deci prin conductor nu circulă niciun curent. De această dată circuitul conductorului nu taie linii de forţă, deoarece numărul lor în circuit este acelaşi dela o poziţie la alta a circuitului.

In primul caz în conductor se induce o forţă electromotoare. Acest lucru se poate vedea montând la bornele conductorului un voltmetru. Cât timp conductorul taie linii de forţă, acul voltmetrului deviază. In acest caz avem o forţă electomotoare după cum indică voltmetrul.

Valoarea f. e. m. induse

Am văzut că într'un conductor situat într'un câmp magnetic se induce o f. e. m. numai atât timp cât conductorul taie liniile de forţă ale câmpului. Din experienţă rezultă că valoarea f. e. m. induse este direct proporţională cu variaţia fluxului

și invers proporțională cu timpul în care are loc această variație. Astfel, legea inducției este cuprinsă în formula generală:

$$e = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t}$$

Dacă vrem să calculăm în volți, formula de mai sus devine:

$$e = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{10^8 \times t} \text{ (volți)}$$

unde:

Φ_1 = fluxul ce străbate circuitul în poziția dela începutul mișcării, măsurat în maxwelli,

Φ_2 = fluxul ce străbate circuitul în poziția dela sfârșitul mișcării, măsurat în maxwelli,

t = timpul cât conductorul s'a mișcat tăind liniile de forță ale câmpului. Timpul se măsoară în secunde.

Formula pentru calculul forței electromotoare poate fi scrisă și sub o altă formă care se folosește la studiul mașinilor electrice.

Astfel, să presupunem că conductorul din experiența precedentă se deplasează pe o distanță x. Fluxul magnetic tăiat de acest conductor a variat cu valoarea:

$$\Phi = B \times S = B\,l\,x$$

unde:

S este suprafața descrisă de conductor, egală cu lungimea l a conductorului înmulțită cu deplasarea x a conductorului.

Conform formulei forței electromotoare avem:

$$e = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t}$$

unde t este timpul în care conductorul s'a deplasat cu x.

Deci avem:

$$e = \frac{B\,l\,x}{t}$$

Dar $\frac{x}{t}$ este vitesa v cu care s'a deplasat conductorul.

Formula devine:

$$e = B\,l\,v.$$

Scanned with OKEN Scanner

Dacă vrem să calculăm pe e în volți scriem:

$e = B\,l\,v \times 10^{-8}$ (volți) unde:

B = câmpul de inducție în gauși,

l = lungimea conductorului în cm,

v = vitesa cu care se deplasează conductorul în cm/s.

Exercițiu: Ce forță electromotoare se induce într'un conductor lung de 1 m care se deplasează cu o vitesă de $v = 20$ m/s într'un câmp uniform $B = 10\,000$ gauși.

$$e = 10\,000 \times 100 \times 2000 \times 10^{-8} = 20 \text{ V.}$$

Regula mânii drepte pentru aflarea sensului curentului de inducție

Sensul curentului de inducție se poate determina dacă cunoaștem sensul liniilor de forță ale câmpului magnetic și sensul mișcării conductorului. Această determinare a curentului se face prin regula mânii drepte *(fig. 93)*.

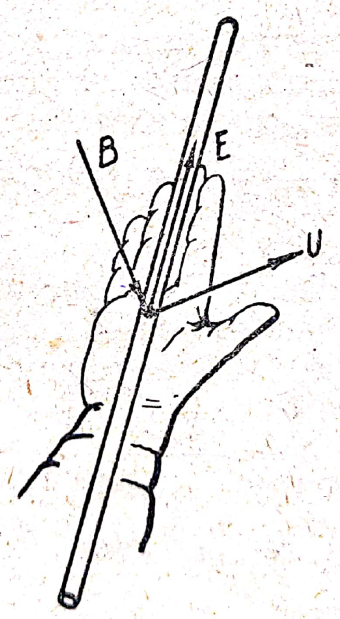


Fig. 93. Regula mâinii drepte.

Așezăm palma astfel, ca liniile de forță ale câmpului magnetic B să intre în palmă, orientând mâna astfel ca degetul mare să aibă direcția mișcării. Degetul mijlociu ne va arăta sensul f. e. m. indusă.

Scanned with OKEN Scanner

Aplicaţii industriale

Inducţia electromagnetică produsă în modul arătat mai sus stă la baza construirii generatoarelor electrice şi a transformatoarelor.

60. Producerea f. e. m. de inducţie prin variaţia fluxului dat de un curent variabil

Experienţă

Luăm circuitele din *fig. 94,*: un circuit primar alimentat de mai multe elemente şi în care se află un întrerupător şi un circuit secundar în care se află intercalat un ampermetru.

De câte ori închidem sau deschidem circuitul primar, se vede că în circuitul secundar apare un curent de scurtă durată. Acest curent din circuitul secundar este de sens opus faţă de cel primar la închiderea circuitului şi de acelaşi sens la deschiderea lui. Curentul există numai cât timp durează închiderea şi deschiderea circuitului primar. Fenomenul se explică astfel: la închiderea circuitului primar, fluxul magnetic produs de curentul acestuia variază dela zero până la valoarea lui normală. Această variaţie de flux din circuitul primar induce în circuitui secundar o f. e. m. de inducţie, respectiv un curent pe care îl constatăm prin ampermetru. Acelaşi lucru se întâmplă şi la deschiderea circuitului primar, numai că de data asta fluxul primar variază dela valoarea normală până la zero. Pe acest principiu se bazează construcţia transformatoarelor.

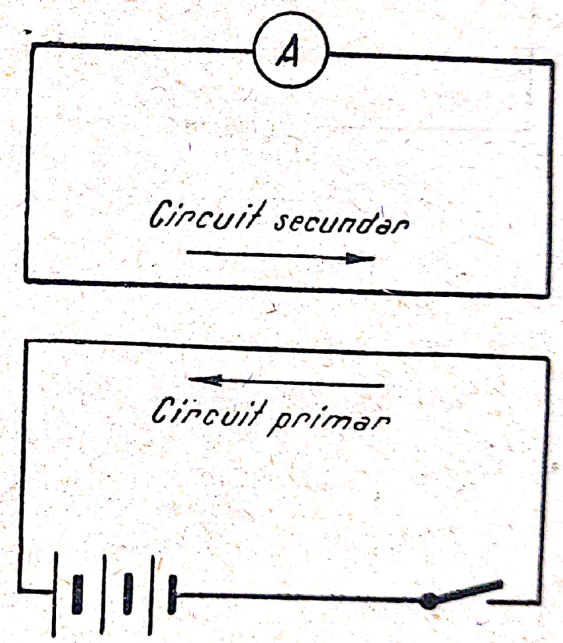


Fig. 94. Producerea unei f. e. m. de inducţie prin variaţia fluxului dat de un curent variabil.

61. Bobina de inducţie

Bobina de inducţie *(fig. 95)* este un transformator al curentului continuu de tensiune joasă în curent de tensiune înaltă. Curentul acesta de tensiune înaltă fiind produs prin fenomene de inducţie se mai numeşte şi *curent de inducţie.*

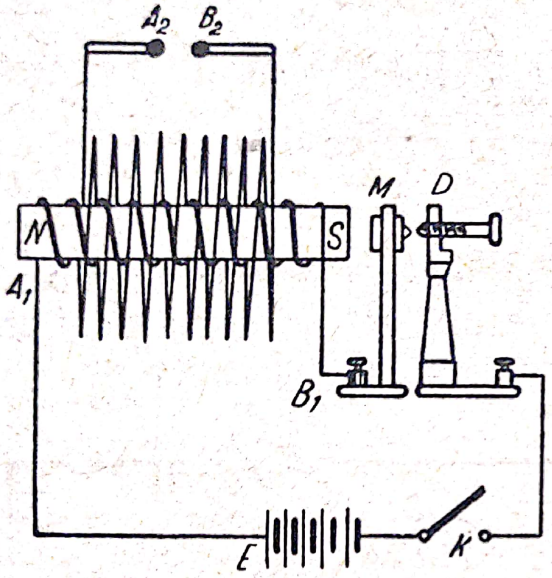


Fig. 95. Bobina de inducţie.

Sub formă schematică, bobina de inducţie *(fig. 95)* se compune dintr'un miez de fier *N S*, format din vergele de fier moale. Pe acest miez se înfăşură două bobine, una primară şi cealaltă secundară. Bobina primară A_1 B_1 este formată din spire puţine şi groase, adică dintr'o rezistenţă electrică mică. Un capăt al bobinei primare se leagă la un pol al unei baterii *E*, iar celălalt capăt, după ce trece prin vibrator şi întrerupătorul *K*, se leagă la celălalt pol al bateriei. Vibratorul este format dintr'o lamă elastică ce are la partea superioară un ciocănaş *M* de fier moale. Lama elastică ţine ciocănaşul apăsat pe şurubul *D* fixat pe suport.

Bobina secundară A_2 B_2 se înfăşură peste cea primară şi este formată din spire multe şi subţiri, adică are o rezistenţă electrică mare.

Funcţionarea bobinei

Inchidem circuitul primar al bobinei prin întrerupătorul *K*. Curentul magnetizează miezul de fier, care atrage ciocănaşul *M*, ce se desprinde de şurub. In acest moment curentul se întrerupe, miezul de fier al bobinei se demagnetizează şi ciocănaşul revine lângă şurub, fiind readus de elasticitatea lamei. Circuitul se reînchide, curentul începe să circule iar şi se repetă întocmai cele de mai sus. Când se închide curentul în bobina primară, atunci se induce în secundar o f. e. m. de inducţie de sens contrar, celei din primar. Când se întrerupe curentul din primar, se induce în secundar o f. e. m. de inducţie de acelaşi sens ca şi în primar. In bobina secundară avem deci o f. e. m.

Scanned with OKEN Scanner

când de un sens, când de sens opus. Dacă apropiem capătul A_2 de B_2 la o distanţă convenabilă, se produc între ele scânteie electrice. Forţa electromotoare de inducţie (secundară) creşte cu numărul de spire al bobinei secundare, cu intensitatea curentului primar şi cu numărul de întreruperi la vibrator pe secundă adică cu viteza de vibraţie.

Ca aplicaţii practice, bobina de inducţie se foloseşte la producerea scânteilor de înaltă tensiune, în bujiile motoarelor cu explozie, în cercetări ştiinţifice privitoare la conductibilitatea electrică a gazelor, la producerea oscilaţiilor electromagnetice, pentru radio şi alte multe aplicaţii în laboratoare.

62. Alte metode de a produce f. e. m. de inducţie

Am văzut că legea inducţiei se exprimă cantitativ prin formula:

$$e = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t}$$

Ştim dela studiul câmpurilor magnetice că fluxul este egacu valoarea câmpului de inducţie $B \times$ suprafaţa străbătută de liniile de forţă, deci

$$\Phi = BS$$

Pe de altă parte $B = \mu H$ unde μ este permeabilitatea magnetică a materialului în care avem fluxul magnetic şi H intensitatea câmpului magnetic.

Deoarece forţa electromotoare de inducţie se produce prin variaţia fluxului, vom studia, mai departe, posibilităţile de variere a fluxului.

Din formula fluxului de mai sus vedem că Φ poate varia fie dacă se modifică B, fie dacă se modifică S.

Am învăţat cum se produce f. e. m. de inducţie prin mişcarea unui conductor într'un câmp magnetic, adică atunci când variază suprafaţa.

De asemenea am învăţat cum se produce f. e. m. de inducţie prin varierea curentului care produce câmpul magnetic B (curentul inductor). In adevăr, atunci când variază curentul ce străbate o bobină, intensitatea câmpului magnetic produs de bobină se modifică.

A treia posibilitate de a obţine f. e. m. de inducţie constă

Scanned with OKEN Scanner

în modificarea permeabilității circuitului în care se stabilește fluxul magnetic.

Această metodă nu este folosită industrial, datorită greutăților constructive la care conduce.

63. Legea lui Lenz

Pentru a putea să arătăm legea lui Lenz, facem următoarea experiență:

Creăm un câmp magnetic cu ajutorul unei bobine formată din mai multe spire alimentată de un generator electric și cu miez de fier (un solenoid) S_1. Acest câmp îl numim *inductor*. Dacă în câmpul inductor plasăm o spiră sau mai multe formând o bobină S_2, ce putem să o mișcăm în diferite sensuri, așa ca să varieze liniile de forță ce străbat planul ei, apare atunci în spiră un curent de inducție. Acest curent dă naștere în spiră, sau în bobină la un câmp magnetic, pe care îl numim *câmp magnetic indus*.

Să vedem ce acțiune are câmpul magnetic indus față de câmpul inductor. Experiența fiind aranjată cum se vede în *fig. 96*, constatăm că, după sensul mișcării spirei (apropiind-o sau depărtând-o de inductor), ia naștere în spira care se mișcă, un curent care produce la rândul lui alt câmp magnetic zis *indus* și anume: când apropiem spira indusă de bobina inductoare se produce un câmp magnetic invers care tinde să îndepărteze spira indusă de inductor. Dacă depărtăm spira de bobina induc-

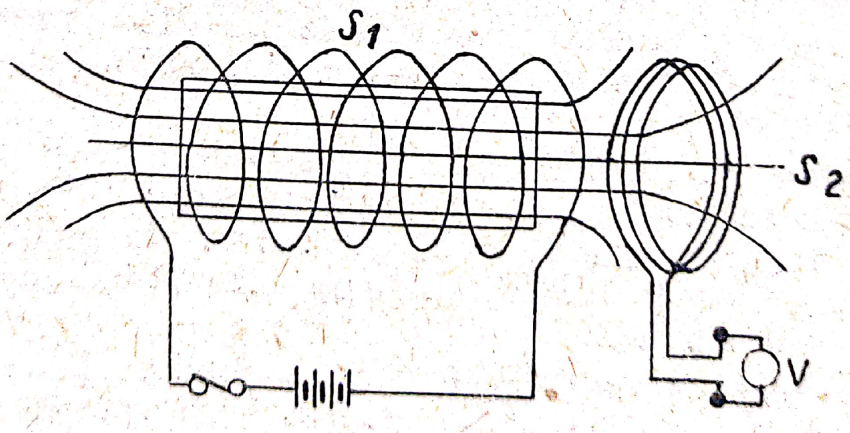


Fig. 96. Legea lui Lenz.

toare ia naștere un câmp de același sens cu al bobinei, care tinde să apropie spira de bobina inductoare, adică să se opună și de astă dată mișcării spirei.

In ambele cazuri deci, câmpul inductor și indus se produc astfel încât prin acțiunea lor se opun mișcării spirei.

Legea cu care se poate determina sensul curentului indus a fost enunțată în 1884 de fizicianul rus, academicianul *Lenz* Această lege se enunță astfel:

Prin deplasarea unui magnet sau a unui circuit cu curent, în raport cu un alt circuit, se induce în acesta din urmă un curent. Sensul curentului indus este astfel, că prin acțiunea lui magnetică se opune mișcării prin care el este produs.

Astfel curentul indus într'un circuit trebue să aibă un astfel de sens ca fluxul magnetic ce-l produce să fie de sens contrar variației de flux care i-a dat naștere.

64. Rotirea unei spire într'un câmp magnetic

Vom considera o spiră dreptunghiulară *ABCD* cu rezistența electrică *R* așezată în câmpul magnetic orizontal produs de 2 poli *N S (fig. 97)*. Spira este astfel construită că se poate

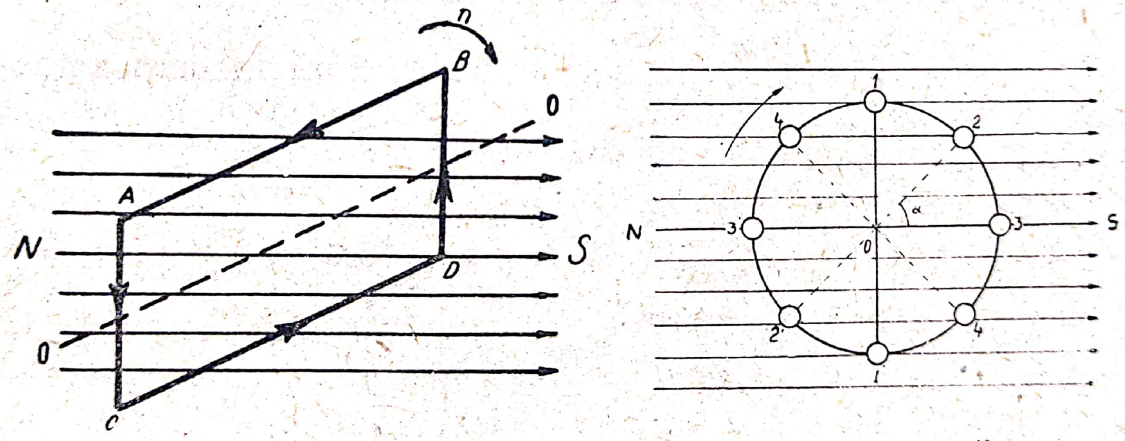


Fig. 97 și 97 a. Rotirea unei spire într'un câmp magnetic.

roti în jurul axei *O O'* cu *n* rotații/minut. Cu ajutorul legii inducției lui Faraday putem stabili valoarea și cu ajutorul legii lui Lenz stabilim sensul f. e. m. induse.

Valoarea fluxului magnetic Φ care străbate spira este maximă *(fig. 97 și 97 a)* atunci când spira se găsește în poziție verticală (perpendiculară pe câmp) și este zero atunci când spira se găsește într'o poziție orizontală (paralelă cu câmpul).

Din contra, f. e. m. indusă în spiră în timpul rotirii ei, care depinde de variația fluxului sau de liniile de forță tăiate

de spiră, este maximă în momentul când spira trece prin poziția paralelă cu direcția câmpului și este zero când trece prin poziția perpendiculară pe câmp.

Dacă notăm cu α unghiul ce-l face planul spirei cu direcția câmpului și cu ω vitesa unghiulară a spirei adică $\omega = \frac{2\pi n}{60}$, de care depinde valoarea f. e. m. indusă în orice moment, n fiind numărul de rotații pe minut al spirei, se demonstrează că f. e. m. indusă în spiră este

$$e = \frac{2\pi n}{60} B \times S \times \cos \alpha$$

iar valoarea intensității este

$$i = \frac{e}{R} = \frac{2\pi n}{60 R} B \times S \times \cos \alpha$$

în care:

R = rezistența electrică a spirei,
S = suprafața spirei.

Dacă am fi luat ca origine pentru α direcția perpendiculară pe câmp, când nu taie linii de forță, adică în poziție neutră, atunci expresiile de sus deveneau:

$$e = \frac{2\pi n}{60} B \times S \times \sin \alpha$$

și

$$i = \frac{2\pi n}{60 R} \times B \times S \times \sin \alpha$$

Valorile lui e și i variază deci sinusoidal.

Sensul curentului indus se găsește cu ajutorul regulii mânii drepte și este cel indicat în figură, dacă spira se rotește în sensul săgeții n.

Intre acest curent i și câmpul magnetic B se produc forțe electromagnetice. Determinarea acestor forțe se face cu legea lui Laplace. Astfel constatăm că asupra fiecărei laturi acționează o forță

$$F = \frac{B\, l\, i}{981\,000 \times 10} \text{ în kg}$$

unde cu B am notat câmpul de inducție, cu l lungimea barei și cu i curentul ce trece prin ea.

Aceste forţe sunt perpendiculare pe bare şi au un sens în spre exteriorul circuitului. Forţele electromagnetice au tendinţa de a deforma spira, astfel ca aceasta să cuprindă maximum de flux magnetic. Forţele de pe laturile BD şi CA se anulează reciproc, iar cele de pe laturile AB şi DC produc un cuplu îndreptat în sens contrar cuplului motor. Prin urmare prin rotirea unei spire într'un câmp magnetic se produc:

a) o forţă electromotoare (de natură electrică), deci un curent în spiră (legea lui Faraday);

b) forţe electromagnetice (de natură mecanică) care tind să deformeze spira şi totodată produc un cuplu mecanic. Acest cuplu mecanic se numeşte *cuplu rezistent*, deoarece, după cum vedem, se opune cuplului motor, care roteşte spira cu turaţia n. Acest fenomen se produce în toate maşinile electrice învârtitoare,

Exerciţiu: Presupunem că laturile spirei sunt:

$AB = CD = 0{,}2$ m, $BD = AC = 0{,}1$ m, $B = 1000$ gauşi

$n = 1910$ rotaţii/minut, $R = 0{,}1$ ohmi. Atunci:

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} = \frac{2 \times \pi \times 1910}{60} = 200 \text{ radiani/secundă}$$

$$e = B \times S \times \omega \cos \alpha = 1000 \times 20 \times 10 \times 200 \cos \alpha = 0{,}4 \times 10^8 \cos \alpha$$

unităţi c. g. s., adică în volţi: $e = 0{,}4 \cos \alpha$; aici α este considerat având ca origine direcţia câmpului.

Dacă vom lua ca origine planul perpendicular pe direcţia câmpului, expresia va fi $e = B \times S \times \omega \times \sin \alpha$ şi variaţia va fi aceeaşi; adică de forma unei sinusoide *(fig. 97 b)*.

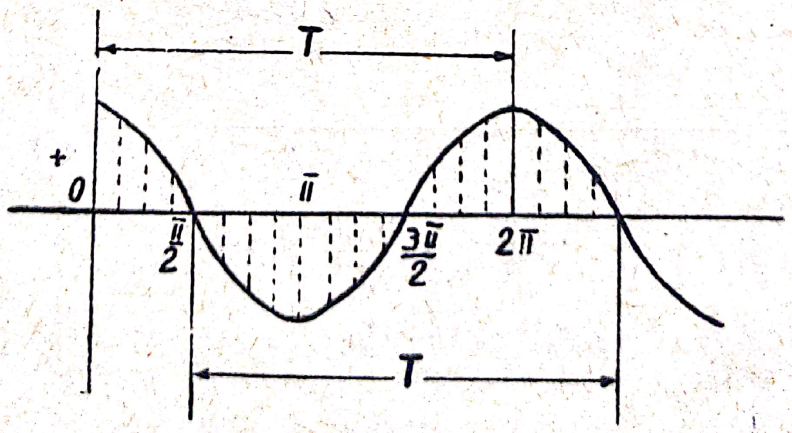


Fig. 97 b. Variaţia forţei electromotoare induse.

Poziţia spirei faţă de direcţia câmpului	cos α	e
0^0	1	0,4
30^0	0,866	0,346
45^0	0,707	0,282
60^0	0,500	0,2
90^0	0	0
120^0	0,500	0,2
135^0	0,707	0,282
150^0	0,866	0,346
180^0	1	0,4
210^0	0,866	0,346
225^0	0,707	0,282
240^0	0,500	0,2
270^0	0	0
300^0	0,866	0,2
315^0	0,707	0,282
330^0	0,500	0,346
360^0	1	0,4

Curentul maxim ce trece prin spiră este:

$$i = \frac{e}{R} = \frac{0,4}{0,1} = 4 \text{ A}$$

Forţa electromagnetică maximă la care este supusă o latură orizontală a spirei este:

$$F_1 = \frac{B\,l\,i}{981\,000 \times 10} = \frac{1000 \times 20 \times 4}{9,81 \times 10^6} = 0,008 \text{ kg}$$

Scanned with OKEN Scanner

Laturile verticale sunt supuse fiecare la o forță :

$$F_2 = \frac{B\, l_2\, I}{981\,000 \times 10} = \frac{1000 \times 10 \times 4}{9{,}81 \times 10^6} = 0{,}004 \text{ kg}$$

Momentul rezistent este :

$$M = F_1 \times \frac{l_2}{2} = 0{,}008 \times \frac{0{,}1}{2} = 0{,}004 \text{ kgm.}$$

Pe lângă învingerea rezistențelor de frecare în aer, lagăre. etc. cuplul motor trebue să învingă și acest cuplu rezistent.

65. Curenții Foucault

Până aici am vorbit despre curenții care se induc în spire metalice, care sunt străbătute de fluxuri variabile. Curenții Foucault se produc în masele mari metalice, care se mișcă într'un câmp magnetic. Ei se închid în masa metalică pe drumuri ce nu se pot stabili. Rezultă că acești curenți Foucault sunt tot curenți induși, prezentând cazul particular al curenților induși în discuri masive (roata Barlow).

Experiența 1

Introducem un miez de fier în interiorul unei bobine prin care circulă curentul dela rețeaua de lumină (curentul alternativ). Constatăm că miezul se încălzește repede *(fig. 98)*.

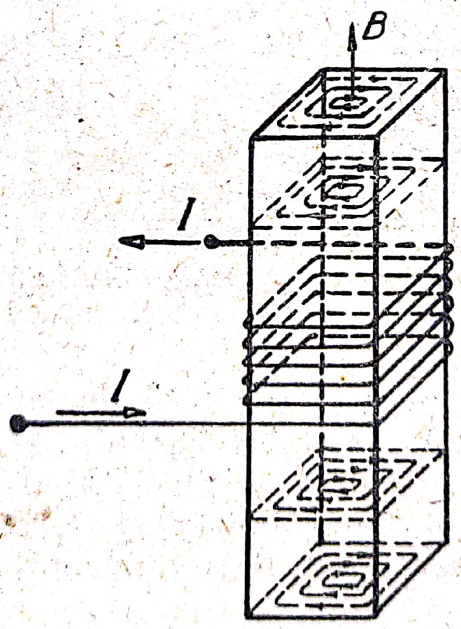


Fig. 98. Miez de fier moale în interiorul unei bobine.

Explicare : efectul termic al curenților induși în miezul de fier de către câmpul magnetic alternativ al curenților dela rețeaua de lumină.

Experienţa 2

Intre polii unui electromagnet puternic facem să oscileze un pendul alcătuit dintr'o vergea prevăzută la capăt cu o placă de cupru *(fig. 99)*.

Dacă prin bobina electromagnetului nu circulă curent constatăm că pendulul poate să oscileze un timp îndelungat. Când prin bobina electromagnetului circulă curent electric, placa pendulului în mişcare taie liniile de forţă ale câmpului magnetic creat de acest curent electric; în placă se induce un curent. Potrivit legii lui Lenz curentul indus se opune mişcării care-l produce. Pendulul se va opri din mişcarea sa.

Aplicaţii industriale

Curenţii Foucault se închid în planul perpendicular direcţiei inducţiei magnetice. Aceşti curenţi pot provoca pe de o

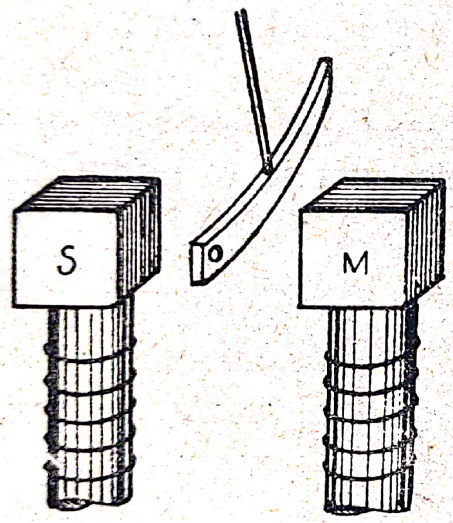


Fig. 99. Pendul pentru constatarea acţiunii curenţilor Foucault.

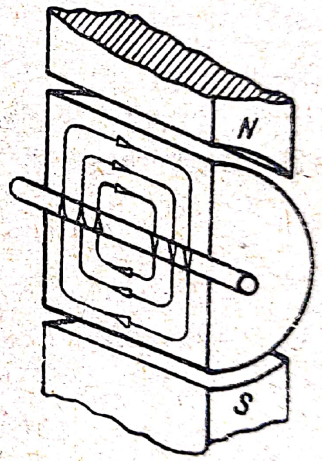


Fig. 100. Jumătate rotor de oţel al unei maşini electrice; curenţii Foucault.

parte încălzirea oţelului prin pierdere de energie, deci o micşorare a randamentului mecanismelor electromagnetice, iar pe de altă parte aceşti curenţi Foucault, fiind supuşi şi ei legii lui Lenz, vor avea o acţiune demagnetizantă.

Pentru micşorarea curenţilor Foucault se fac miezurile din tablă de oţel.

Fig. 100 arată jumătatea unui rotor de oţel dela o maşină electrică, confecţionată dintr'o bucată de oţel care se va roti într'un câmp magnetic, deci în el se vor produce curenţii Foucault, cum sunt arătaţi în figură.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă rotorul se va face din discuri de tablă de oţel aceşti curenţi pot fi micşoraţi în mare măsură.

Discurile de tablă de oţel se aşază aşa fel ca planul lor să fie paralel cu direcţia câmpului; curenţii sunt mai mici şi limitaţi de grosimea tablei.

Energia pierdută prin curenţii Foucault se transformă în căldură, deci ea contribue în mare măsură la încălzirea maşinilor electrice în funcţiune.

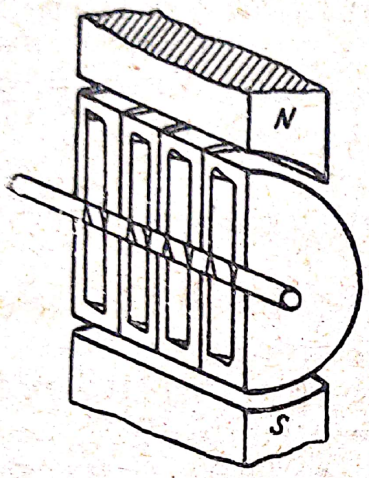


Fig. 101. Rotor din discuri cu tablă de oţel.

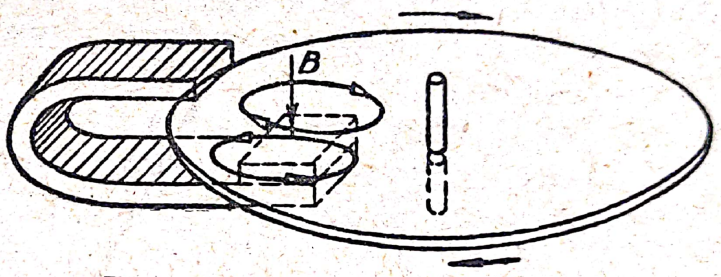


Fig. 102. Discul dela un contor de energie electrică.

Dacă în construcţia maşinilor electrice curenţii Foucault nu sunt doriţi, fiindcă influenţează defavorabil asupra funcţionării lor, la o serie de alte aparate aceşti curenţi pot fi utilizaţi pentru punerea în funcţiune sau asigurarea regimului de lucru.

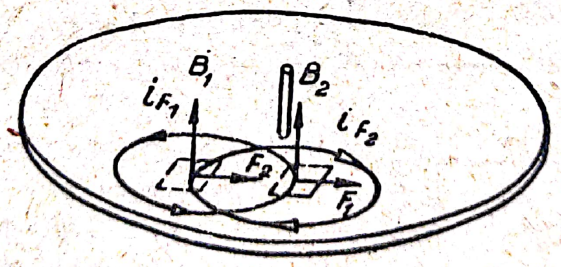


Fig. 103. Curenţi Foucault induşi într'un disc fix.

De exemplu: în *fig. 102* sunt arătaţi curenţii Foucault induşi în discul unui contor de energie electrică, care se roteşte între polii unui magnet permanent; sau în *fig. 103* sunt arătaţi curenţii Foucault induşi într'un disc fix, care se găseşte într'un câmp magnetic variabil.

Scanned with OKEN Scanner

In discul din *fig. 102* apar curenţii Foucault ; prin interacţiunea dintre ei şi câmpul magnetului permanent, apare o forţă, care acţionând asupra discului, tinde să frâneze mişcarea lui.

In *fig. 103* avem un disc al unui contor, străbătut de două fluxuri magnetice ale electromagneţilor. Fiecare din aceste două fluxuri, când variază, va da naştere în disc la curenţi Foucault, ce vor produce rotirea discului. Fiecare curent creat, trecând prin disc din şi prin partea lui, aşezat în câmpul celuilalt magnet, creează fiecare, unul forţa F_1 şi altul forţa F_2; fiecare din forţe formează un cuplu cu reacţiunea din centrul său, deci provoacă rotirea discului.

66. Autoinducţia (selfinducţia). Coeficienţi de autoinducţie şi de inducţie mutuală

Fluxul magnetic produs de către un curent care circulă într'un conductor produce asupra conductorului însuşi aceleaşi acţiuni pe care le exercită şi asupra unui conductor străin.

Când închidem circuitul electric din care face parte un conductor, fluxul magnetic, produs de curentul din acest circuit, variază dela valoarea 0 până la valoarea Φ când curentul ajunge în stare de regim. Această variaţie de flux produce în acest conductor o f. e. m. indusă numită *forţă electromotoare de autoinducţie (selfinducţie)*, care se opune curentului din circuit care i-a dat naştere. Indusul şi inductorul sunt unul şi acelaşi.

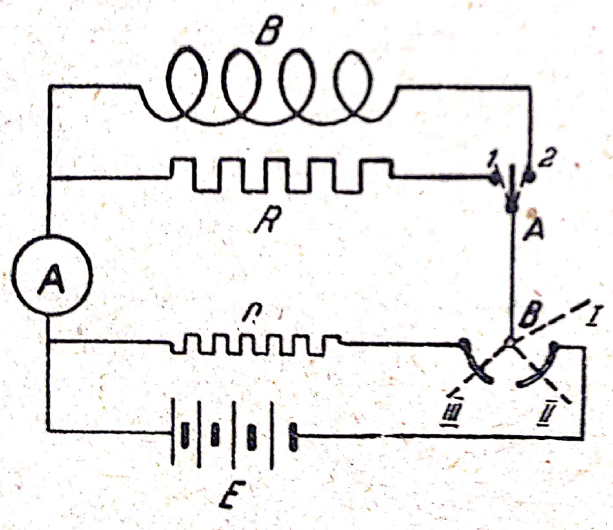


Fig. 104. Schema montajului experienţei dela pag. 130

Experienţă :

Se realizează montajul din *fig. 104* unde avem:
E = o baterie de acumulatoare,
A = un ampermetru,

r = o rezistenţă de valoarea r ohmi,
R = o rezistenţă de valoarea R ohmi,
B = o bobină având o rezistenţă electrică R ohmi,
A, B întreruptoare.

Punem întreruptorul A în poziţia I. Când trecem întreruptorul B din poziţia I în poziţia II observăm la ampermetru o deviaţie bruscă produsă de curentul dat de E, care trece prin rezistenţa R.

Dacă trecem întreruptorul B din poziţia II în poziţia III, am scos din circuit bateria de acumulatoare, prin urmare rezistenţa R nu mai este supusă la o tensiune. Privind ampermetrul vedem că deviaţia se anulează de asemenea imediat.

Repetăm experienţa, punând întreruptorul A în poziţia II. In acest caz curentul dat de acumulator va trece prin bobina B, care are aceeaşi rezistenţă ohmică R. Când trecem întreruptorul B din poziţia I în poziţia II, observăm la ampermetru o deviaţie lentă, care atinge până la urmă aceeaşi valoare finală ca aceea din cazul precedent.

Dacă trecem din II în III, observăm că deviaţia ampermetrului dispare încet.

Aceste observaţiuni ne dovedesc că forţa electromotoare de autoinducţie întârzie stabilirea curentului la valoarea finală (egală cu aceea din cazul când acumulatoarele alimentează R, deoarece bobina are aceeaşi rezistenţă ohmică), respectiv se opune dispariţiei imediate a curentului, pe care îl prelungeşte după suprimarea forţei electromotoare E.

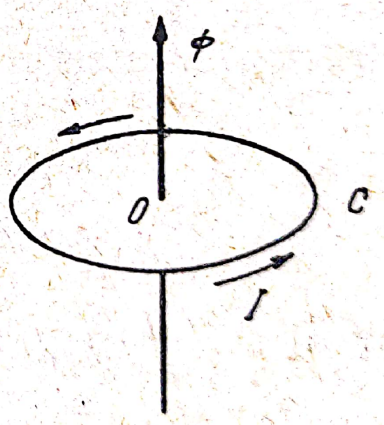


Fig. 105. Circuit străbătut de un curent I

Intr'adevăr să considerăm un circuit C străbătut de un curent I *(fig. 105)*.

Acest circuit se găseşte străbătut de fluxul Φ, datorit curentului însuşi I ce-l parcurge. Deoarece câmpul de inducţie magnetică B este în fiecare punct al spaţiului proporţional cu curentul I (presupunând că permeabilitatea este independentă de B), fluxul Φ ce străbate circuitul C va fi şi el proporţional cu I:

$$\Phi = L\,I$$

L este coeficientul de autoinducţie sau inductivitatea

Scanned with OKEN Scanner

ircuitului C. Inductivitatea L este măsurată prin raportul dintre fluxul Φ și curentul I ce străbate circuitul. Ea se exprimă în henry (H).

Zicem că avem 1 henry atunci când la o variație de curent de 1 amper pe secundă se induce o tensiune de 1 volt.

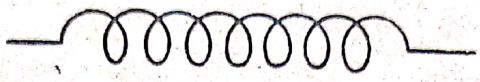


Fig. 106. Reprezentarea schematică a unei inductivități

O inductivitate se prezintă ca în *fig. 106*, sub forma unui număr mare de spire legate în serie, adică sub forma unui solenoid sau bobine. O bobină fiind formată din n spire, coeficientul de autoinducție al bobinei va fi egal cu $n\,L$, unde L este coeficientul de autoinducție al unei singure spire.

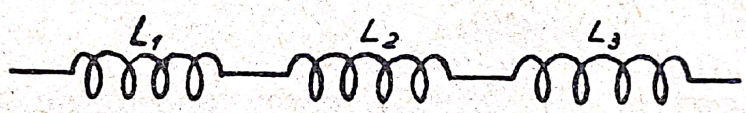


Fig. 107. Inductivități legate în serie

Două sau mai multe bobine cu coeficienți de autoinducție sau inductivități L_1, L_2, L_3,... se pot lega în serie sau paralel. Inductivitatea echivalentă L este:

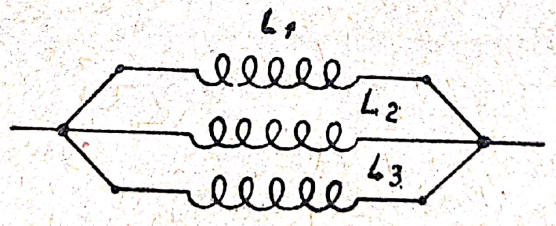


Fig. 108. Inductivități legate în paralel

$L = L_1 + L_2 + L_3$ când inductivitățile sunt legate în serie *(fig. 107)* iar când inductivitățile sunt legate în paralel *(fig. 108)* inductivitatea echivalentă este:

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

Deci la închiderea unui circuit, autoinducția dă naștere unui curent care se opune curentului principal și îl împiedecă să ajungă dintr'o dată la valoarea dată de legea lui Ohm.

Trebue să treacă un interval de timp (de obiceiu o fracţiune de secundă) până când intensitatea curentului să ajungă la valoarea de regim.

Când întrerupem circuitul, autoinducţia dă naştere la un curent care se adaugă curentului principal şi-l face să persiste şi după întreruperea circuitului. Autoinducţia de întrerupere dă naştere la o f. e. m. foarte mare, care produce scânteie la întreruptor când întrerupem circuitul. Deoarece scânteia produce stricăciuni aparatelor, este bine ca întreruperea circuitului să se facă după o prealabilă slăbire treptată a curentului prin mijloace speciale.

Autoinducţia nu interesează în curent continuu decât în cazul întreruperii şi stabilirii curentului. In curentul alternativ însă, a cărui intensitate variază şi îşi schimbă sensul de mai multe ori pe secundă, autoinducţia are o mare importanţă şi mai ales în practica industrială.

Inducţia mutuală

Fie două bobine, *I* şi *II*, aşezate una în apropierea celeilalte *(fig. 109)*.

Dacă prin bobina *I* circulă un curent, vom putea deosebi în câmpul magnetic generat de acest curent două feluri de linii de forţă şi anume liniile de forţă care nu înconjură bobina *II* şi acelea care o înconjură. Totalitatea primelor linii de forţă alcătuesc fluxul $\Phi_{1\cdot 0}$ şi a celor de al doilea fluxul $\Phi_{1\cdot 2}$. Fluxul magnetic Φ generat de curentul ce circulă prin bobina *I* va fi deci : $\Phi_1 = \Phi_{1\cdot 0} + \Phi_{1\cdot 2}$.

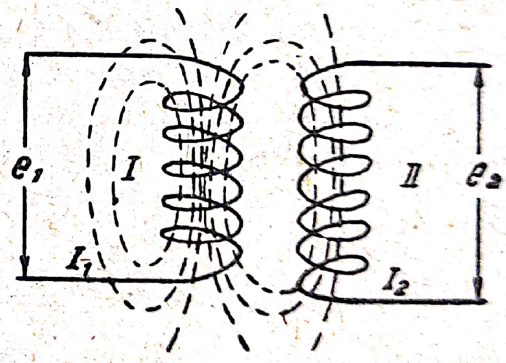


Fig. 109. Inducţia mutuală între bobinele *I* şi *II*

Acelaşi lucru se poate spune când un curent ar circula prin bobina *II*. In mod analog vom avea pentru fluxul Φ_2 relaţia : $\Phi_2 = \Phi_{2\cdot 0} + \Phi_{2\cdot 1}$. Dacă intensitatea curentului din prima bobină variază, atunci şi fluxul Φ_1 variază. Cum fluxul Φ_1 se compune din două părţi, fluxul $\Phi_{1\cdot 0}$ şi fluxul $\Phi_{1\cdot 2}$, rezultă că numai fluxul $\Phi_{1\cdot 2}$ va induce în bobina *II* un curent variabil.

Curentul variabil indus în bobina *II* va genera fluxul

Scanned with OKEN Scanner

variabil $\Phi_2 = \Phi_{2\cdot0} + \Phi_{2\cdot1}$, din care fluxul $\Phi_{2\cdot1}$ va induce la rândul său, un curent în bobina *I*. In acest caz zicem că avem o *inducţie mutuală*, iar între bobinele *I* şi *II* există un cuplaj şi, corespunzător coeficientului de inducţie *L*, avem coeficientul de inducţie mutuală *M* a celor două bobine.

Coeficientul de inducţie mutuală *(M)* depinde de forma, dimensiunile şi poziţia relativă a celor două bobine.

Fluxul produs în bobina *II* de curentul care circulă în bobina *I* este egal cu fluxul produs de bobina *I* când prin bobina *II* circulă un curent de aceeaşi valoare.

Inducţia mutuală se consideră pozitivă când liniile de forţă a celor două bobine sunt în acelaşi sens pe porţiunea comună. Ea este negativă când sunt de sens contrar.

Când toate liniile de forţă produse de curentul care circulă printr'o bobină, străbat cealaltă bobină, avem coeficientul de inducţie maxim. Acesta este dat de formula:

$$M_{max} = \sqrt{L_1 L_2}$$

şi are loc când cele două bobine sunt bobinate pe un acelaşi suport.

Unitatea de măsură pentru coeficientul de inducţie mutuală este tot henry-ul. Inducţia mutuală a două bobine este egală cu un henry, când pentru o variaţie a intensităţii curentului în bobina *I* de un amper pe secundă, se obţine în bobina *II* o f. e. m. indusă de un volt şi reciproc.

67. Bobinaj antiinductiv

Pentru a micşora coeficientul de autoinducţie vom executa bobinajul în felul următor: se pune firul în două şi începe bobinajul cu capătul la care am îndoit firul *(fig. 110)*.

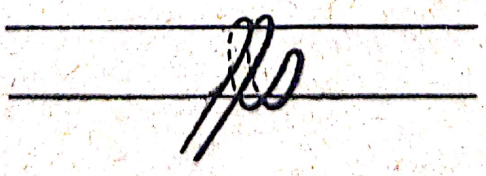


Fig. 110. Bobinaj antiinductiv

In acest caz curentul circulă într'o jumătate de conductor într'un sens, iar în cealaltă jumătate în sens contrar, astfel că

inducția mutuală va fi negativă, ceea ce în mod practic anulează autoinducția bobinei întregi.

Exemple practice

1. Intr'o sutime de secundă curentul dintr'o bobină lungă de 25 cm, având 400 spire și o secțiune de 20 cm², variază dela 0 la 10 amperi.
Să se calculeze forța electromotoare și autoinducția produsă:
a) într'o spiră a bobinei,
b) în toată bobina.

Rezolvare:

$$n = \frac{N}{l} = \frac{400}{25} = 16 \text{ spire/cm}$$

$$\Phi_1 = 1{,}25\ \mu \times S \times n \times I = 1{,}25 \times 1 \times 20 \times 16 \times 10 = 4000 \text{ maxwelli}$$

$$e = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{10^8 . t} = \frac{4000 - 0}{10^8 \times 0{,}01} = 0{,}004 \text{ V}$$

$$E = N\, e = 400 \times 0{,}004 = 1{,}6 \text{ V}$$

2. Aceeași problemă în cazul când se introduce în bobină o bară de fier având permeabilitatea de $\mu = 1000$.

Rezolvare:

$$\Phi_1 = \mu \times \Phi = 1000 \times 4000 = 4 \times 10^6 \text{ maxwelli.}$$

$$e = 4 \text{ V}; \quad E = 1600 \text{ V}$$

3. Care este coeficientul de autoinducție al bobinei din problema 2?

Rezolvare:

$$L = \frac{\Phi_1}{I} \times 10^{-8} = \frac{4 \times 10^6}{25} \times 10^{-8} = 1{,}6 \times 10^{-3} \text{ henry.}$$

4. Care este coeficientul de inducție mutuală între două bobine B_1 și B_2 atunci când prin variația curentului în bobina B_1 dela 0 la 100 A, în timp de 1 s, curentul produs în bobina B_2 este egal cu 20 amperi. Rezistența r_2 a bobinei B_2 este de 0,1 ohmi.
Forța electromotoare indusă în B_2 este:

$$e_2 = r_2\, I_2 = 0{,}1 \times 20 = 2 \text{ V}$$

Legea inducției dă: $e_2 = \frac{M\, I_1}{t}$; deci

$$M = \frac{e_2\, t}{I_1} = \frac{2 \times 1}{100} = 0{,}02 \text{ V}$$

Scanned with OKEN Scanner

68. Stabilirea curentului într'un circuit

Am văzut în experienţa dela pag. 130 că stabilirea curentului într'un circuit conţinând o bobină, deci având un coeficient de autoinducţie L pe lângă rezistenţa ohmică R, nu se face brusc, ci lent şi progresiv.

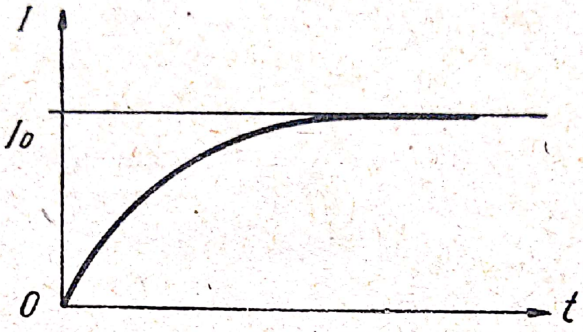


Fig. 111. Variaţia intensităţii curentului la stabilirea lui într'un circuit

Legea de variaţie a intensităţii curentului în funcţie de timp, determinată prin calcule, este dată de o relaţie care ne dă valoarea curentului în fiecare moment, începând dela momentul închiderii circuitului, cum se vede pe curba din *fig. 111*.

69. Energia câmpului magnetic

După cum am văzut, curentul electric dă naştere în jurul lui la un câmp magnetic. Prin formarea acestui câmp o parte din energia electrică se transformă în energie magnetică.

Pentru a se putea vedea cum se face schimbul de energie între curenţi şi câmpul magnetic, luăm cazul închiderii şi întreruperii unui circuit electric.

La închiderea circuitului, o parte din energia electrică a curentului se transformă în energie a câmpului magnetic. Din această cauză curentului îi trebue un timp oarecare până să ajungă la valoarea normală determinată de starea de regim.

La întreruperea circuitului, energia magnetică este redată circuitului sub formă de energie electrică. De aceea curentul persistă în circuit şi după întrerupere. Maşinile electrice pot funcţiona tocmai datorită înmagazinării unei energii magnetice în întrefier.

Valoarea acestei energii se calculează prin formula:

$$W = \frac{1}{2} L I^2 \text{ (jouli).}$$

Formula care ne dă valoarea energiei înmagazinată în propriul său câmp magnetic de un curent I este:

$$W = \frac{1}{2} \Phi I$$

unde:

Φ (maxwelli) este fluxul magnetic produs de conductor,

I (amperi) este curentul ce poate produce fluxul Φ.

Deoarece $\Phi = L I$, unde L (henry) este inducţia circuitului străbătut de curentul I (amperi) avem:

$$W = \frac{1}{2} L I^2 \text{ (jouli).}$$

Aplicaţii

1. Care este energia ce se înmagazinează în câmpul magnetic produs de o bobină având $L = 0{,}01$ henry, dacă este străbătută de un curent de 100 A?

$$W = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} 0{,}01 \times (100)^2 = 50 \text{ jouli}$$

2. Care este fluxul unui electromagnet, dacă se ştie că energia înmagazinată în câmpul magnetic este de 10 jouli, curentul ce străbate bobinajul fiind de 500 A?

$$\Phi = \frac{2W}{I} = \frac{2 \times 10 \times 10^8}{500} = 4{,}10^6 \text{ maxwelli}$$

CAP. IX. CÂMPUL ELECTRIC

70. Câmpul electric

Noi am văzut, în cele ce preced, că electronii în mişcare (curentul electric) generează un câmp magnetic, caracterizat prin aceea că în el se manifestă proprietăţi magnetice. Dar electronii nu generează numai un câmp magnetic ci şi un câmp electric, în care se manifestă fenomene electrice.

Existenţa unui astfel de câmp o putem dovedi prin următoarea experienţă:

Scanned with OKEN Scanner

Pe o placă de sticlă se lipesc două fășii *A*, *B*, de staniol la oarecare distanță una de alta. Aceste fășii de staniol se pun în legătură cu o sursă de curent continuu. Dacă presărăm deasupra cristale fine de gips, după câteva lovituri ușoare ele se așază după niște linii, așa cum se vede în *fig. 112.*

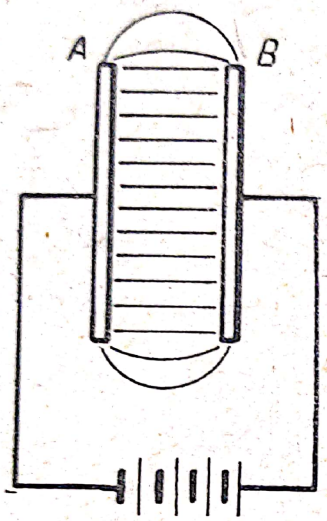


Fig. 112. Câmpul electric între două plăci de sticlă *A* și *B*.

După cum știm, pe fășia negativă s'au adunat electroni liberi, în timp ce de pe fășia pozitivă s'au retras electronii liberi. In felul acesta fiecare fășie capătă o cantitate anumită de electricitate *Q*, din care una va avea o cantitate de electricitate pozitivă, iar cealaltă o cantitate de electricitate negativă, după cum se va dovedi din cele ce urmează.

Dacă în interiorul acestui câmp se introduce o bobiță de soc încărcată cu o cantitate oarecare de electricitate, se observă că asupra acesteia se exercită forțe de atracție și respingere, deci acțiuni electrice.

De aci putem trage concluzia că două cantități de electricitate de semne diferite, separate între ele printr'un izolator, numit *dielectric*, generează între ele un câmp electric[1]). Dar nu numai atât, ci și o cantitate de electricitate de pe bobița de soc a generat un câmp electric și acțiunile de atracție și respingere se datoresc acțiunii reciproce a acestor două câmpuri electrice.

Spre deosebire de câmpul magnetic, unde nu se poate vorbi de cantități de magnetism, care nici nu există, în câmpul electric avem cantități de electricitate care generează acest câmp. De asemenea între câmpul magnetic și cel electric mai există și deosebirea că, în timp ce primul este generat numai de electronii în mișcare, cel de al doilea este generat atât de electronii în mișcare cât și de electronii în stare de repaus. Pentru simplificare vom presupune, în cele ce urmează, că câmpul electric este generat de electroni în stare de repaus.

Separarea cantităților de electricitate se poate face și pe cale de frecare, procedeu cunoscut încă din antichitate, de

---

1) Acest câmp persistă și atunci când legăturile cu bateria s'au rupt, sau când se îndepărtează una din foi.

aceea unele proprietăţi ale câmpului electric sunt cunoscute încă de pe atunci.

Introducerea unei cantităţi de electricitate de acelaşi fel pe un corp oarecare se numeşte *electrizare.*

Inafară de electrizarea cu ajutorul unei surse, cum s'a arătat mai sus, electrizarea se mai poate face prin frecare, prin contact sau prin influenţă.

71. Electrizare prin frecare

Luăm o vergea de răşină pe care o frecăm cu o bucată de lână. Apropiem bastonul de corpuri uşoare: bucăţi de hârtie, fire de păr, etc. şi constătăm că acestea sunt atrase. Mai sunt atrase şi alte substanţe ca: sticla, ceara roşie, ebonita sau sulful, etc. care, frecate cu o bucată de lână sau stofă, atrag bucăţele de hârtie *(fig. 113).*

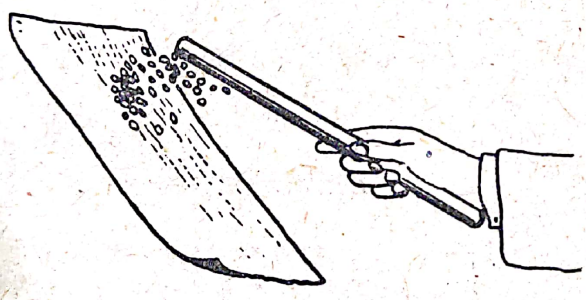


Fig. 113. Electrizarea unui baston de răşină, prin frecare

Fig. 114. Pendulul electric

Proprietatea de atracţie pe care o capătă aceste corpuri prin frecare se numeşte *electrizare.* Corpurile care manifestă această proprietate se numesc *electrizate* sau *încărcate cu electricitate.*

72. Electrizare prin contact

Pentru a studia acest mod de electrizare ne servim de pendulul electric.

Acesta este format dintr'o bobiţă de măduvă de soc atârnată cu un fir de mătase de un suport de sticlă *(fig. 114).*

Frecăm un baston de ebonită cu o bucată de lână şi-l apropiem de bobiţa de soc. Aceasta este atrasă până la contact şi apoi respinsă.

Apropiem de bobiţă bucăţele de hârtie şi vedem că le

atrage. Inseamnă că bobiţa s'a electrizat prin contactul cu bastonul de ebonită *(fig. 114 a)*.

Acest fel de electrizare a bobiţei, prin atingere cu un corp electrizat, se numeşte *electrizare prin contact.*

73. Cele două feluri de electricitate

Experienţă : Apropiem din nou un baston de ebonită frecat cu o bucată de lână de bobiţa de soc electrizată ca mai înainte. Bobiţa este respinsă.

Apropiem de această bobiţă un baston de sticlă după ce a fost frecat cu o bucată de lână. Constatăm că bobiţa este atrasă.

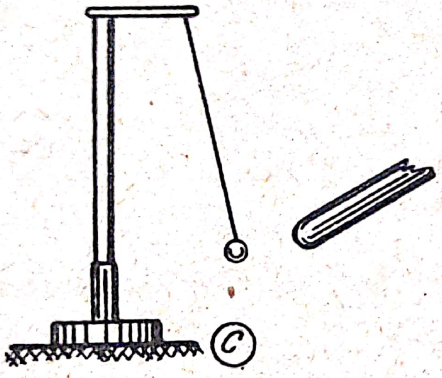


Fig. 114 a. Electrizarea unei bobiţe de soc, prin contact

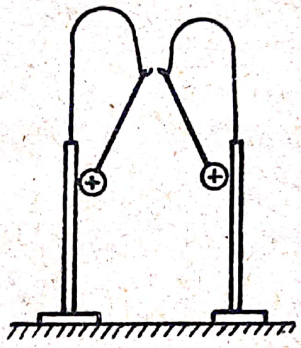


Fig. 115. Respingerea bobiţelor de soc încărcate cu acelaşi fel de electricitate (electricitate pozitivă)

Din cele de mai sus constatăm următoarele:

La începutul experienţei bobiţa de soc a avut în ea electricitatea transmisă de bastonul de ebonită electrizat ce a fost în contact cu ea.

Apropiind iar bastonul de ebonită electrizat, acesta respinge bobiţa care este încărcată cu acelaşi fel de electricitate ca şi bastonul.

Apropiind de bobiţă bastonul de sticlă electrizat, acesta atrage bobiţa. Inseamnă că sticla conţine altfel de electricitate decât ebonita.

Asemănând electricitatea acumulată pe sticlă sau pe ebonită cu cea furnisată de o sursă, zicem că electricitatea de pe sticlă este pozitivă, iar electricitatea de pe ebonită este negativă. Aceste denumiri sunt absolut convenţionale.

Experienţă : Luăm două pendule electrice şi încărcăm bobiţele lor cu electricitate pozitivă. Bobiţele se resping *(fig. 115).*

Scanned with OKEN Scanner

Dacă încărcăm bobiţele cu electricitate negativă, ele de asemenea se resping *(fig. 116)*.

Dacă încărcăm o bobiţă cu electricitate pozitivă, iar cealaltă cu electricitate negativă, bobiţele se atrag *(fig. 117)*.

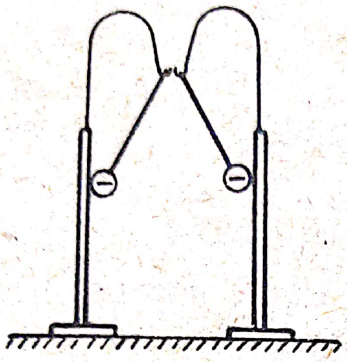


Fig. 116. Respingerea bobiţelor de soc încărcate cu electricitate negativă

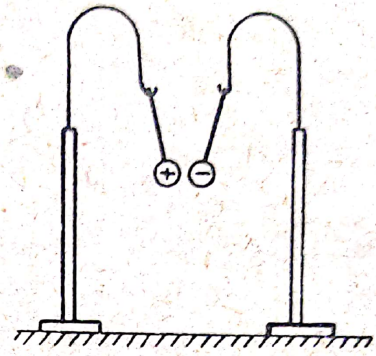


Fig. 117. Bobiţele de soc, încărcate cu electricitate de sens contrar, se atrag.

Din cele de mai sus putem deduce legea:

Două corpuri încărcate cu electricitate de acelaşi fel se resping, iar două corpuri încărcate cu electricitate de sens contrar se atrag.

74. Electroscopul

Electroscopul este un aparat cu care se poate constata prezenţa şi felul electricităţii într'un corp.

Se compune dintr'un vas de sticlă *(fig. 118)* astupat cu un dop izolator, prin care pătrunde o vergea metalică.

Vergeaua are la capătul din afară o bilă de metal, iar la cel din interior două foiţe subţiri de staniol. Vasul apără foiţele de acţiunea curenţilor de aer.

Putem constata dacă un corp este electrizat apropiindu-l de bila metalică a electroscopului.

Dacă foiţele se depărtează între ele corpul este electrizat (foiţele se încarcă cu acelaşi fel de electricitate primită dela corp).

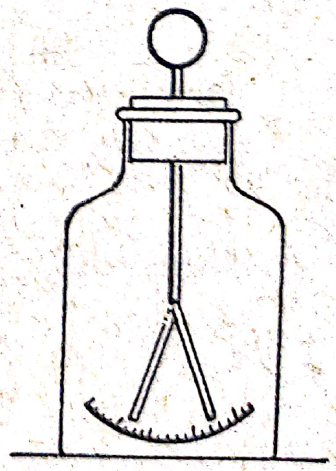


Fig. 118. Electroscopul.

Semnul electricităţii unui corp se poate constata astfel:

apropiem corpul de bila electroscopului. Foiţele se vor depărta. Apropiem apoi de bila electroscopului un corp încărcat cu electricitate pozitivă (un baston de sticlă electrizat). Dacă foiţele electroscopului se vor depărta mai mult, corpul a fost încărcat pozitiv, iar dacă se vor apropia, corpul a fost încărcat negativ.

75. Legea lui Coulomb

Printr'o serie de experienţe făcute în 1785, fizicianul Coulomb a stabilit următoarea lege pentru atracţiunile reciproce ale corpurilor de electricitate: *două sarcini electrice se atrag sau se resping cu o forţă direct proporţională cu produsul lor şi invers proporţională cu pătratul distanţei dintre ele.* In aer legea se scrie astfel:

$$F = \frac{q_1 \times q_2}{r^2}$$

(legea este valabilă numai pentru corpuri foarte mici în comparaţie cu distanţa ce le separă)

unde:

F = forţa de atracţie sau de respingere dintre cele două corpuri,

q_1 = sarcina electrică cu care este încărcat corpul *1*,

q_2 = sarcina electrică cu care este încărcat corpul *2*,

r = distanţa între corpuri.

Din formulă se vede:

Dacă q_1 şi q_2 sunt de acelaşi semn, forţa F este pozitivă iar acţiunea ei este de respingere.

Dacă q_1 şi q_2 sunt de semn contrar, forţa F este negativă iar acţiunea ei este de atracţie.

Intr'un mediu izolator (dielectric) cum ar fi petrolul sau uleiul, forţa F este mai mică ca în vid şi se exprimă astfel:

$$F = \frac{q_1 \times q_2}{\varepsilon \times r^2}$$

unde:

ε = constanta dielectrică care are valoare diferită dela un material la altul; pentru vid $\varepsilon = 1$.

Scanned with OKEN Scanner

76. Unitatea electrostatică (c. g. s.) de cantitate de electricitate

Dacă în formulă luăm: $q_1 = q_2 = 1$ şi $\varepsilon = 1$, iar $r = 1$ cm, atunci $F = 1$ dină. Deci unitatea electrică de cantitate de electricitate este acea cantitate care atrage sau respinge cu o forţă de o dină o cantitate de electricitate egală, aşezată în vid ($\varepsilon = 1$) la o depărtare de 1 cm. Această unitate c. g. s. fiind foarte mică, se utilizează în practică coulombul.

77. Intensitatea câmpului electric. Linii de forţă

Din experienţele de mai sus vedem că:

Un corp electrizat generează în spaţiul din jurul său un câmp electric.

Se numeşte *câmp electric* al unui corp electrizat spaţiul în care acest corp îşi manifestă acţiunea lui asupra altor corpuri.

Intensitatea câmpului electric într'un anumit punct este forţa cu care câmpul acţionează asupra unei sarcini pozitive egală cu unitatea ce se află în acel punct.

Intensitatea acestui câmp electric este dată de formula:

$$E = \frac{F}{q}$$

în care:

F = forţa cu care câmpul acţionează asupra sarcinii electrice q ce se află într'un punct al câmpului.

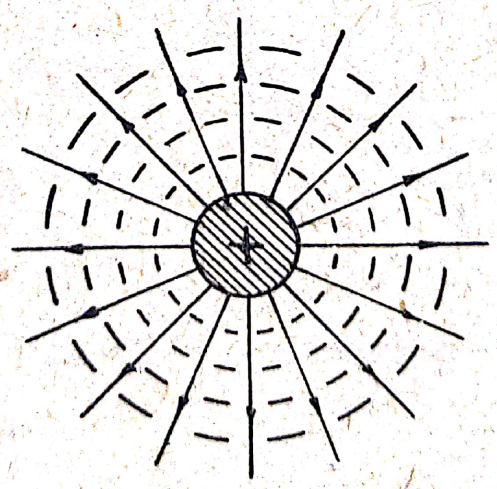


Fig. 119. Liniile de forţă ale câmpului electric creat de o sarcină electrică pozitivă.

E = intensitatea câmpului în punctul unde se află sarcina q.

In fiecare punct al câmpului, intensitatea lui are altă valoare şi altă direcţie. Direcţia intensităţii este indicată de liniile de forţă ale câmpului, care pot fi văzute aşa cum am arătat în experienţa dela pag. 138 sau dacă creăm un câmp electric în uleiu de

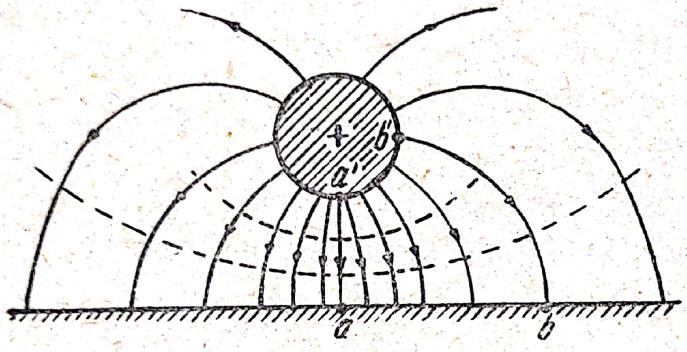


Fig. 120. Liniile de forţă ale câmpului electric între un conductor electrizat şi pământ

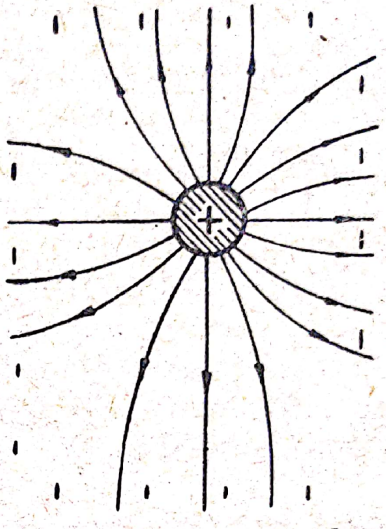


Fig. 121. Liniile de forţă ale câmpului electric dintre un conductor şi pereţii unei cutii metalice legată la pământ

riçin, în care am introdus firişoare de asbest.

Forma liniilor de forţă diferă dela un câmp la altul.

In *fig. 119, 120, 121* şi *122* se văd formele liniilor de forţă la câmpuri electrice create de sarcini electrice de mărimea unui punct (punctiforme).

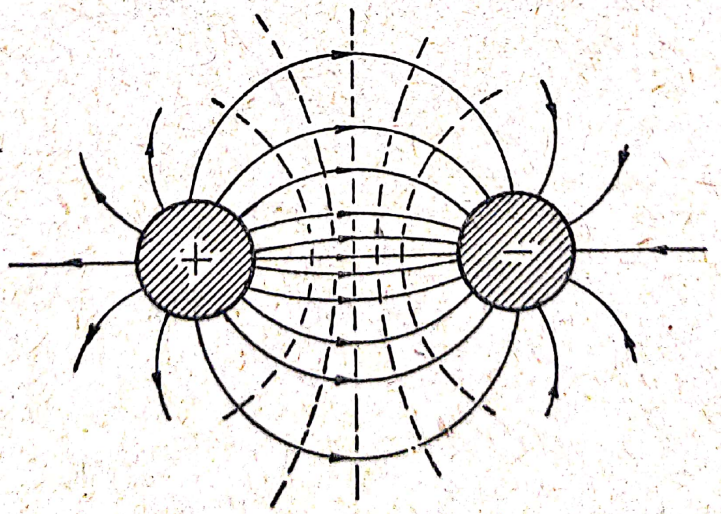


Fig. 122. Liniile de forţă ale câmpului electric dintre doi conductori încărcaţi cu electricitate de semne contrare

Scanned with OKEN Scanner

78. Potențial

Presupunem că avem un câmp electric creat de o sarcină pozitivă. Dacă în acest punct introducem o altă sarcină electrică pozitivă q, aceasta va fi respinsă.

Pentru ca să readucem sarcina q în locul de unde a plecat, trebue să efectuăm un lucru mecanic, care se înmagazinează în această sarcină sub formă de energie potențială. În fiecare punct al câmpului este nevoie de o altă energie potențială pentru a menține sarcina q în acel punct.

Energia consumată pentru ca să aducem sarcina unitate pozitivă (+1) dela infinit până într'un punct al câmpului electric se numește *potențialul* acelui punct.

Dacă vrem să deplasăm sarcina q dela un punct A al cărui potențial este V_A la altul B al cărui potențial este V_B, în lungul unei linii de forță, atunci trebue să consumăm o energie egală cu diferența potențialelor celor două puncte înmulțită cu sarcina q, adică:

$$W = q \times (V_A - V_B)$$

în care:

W = energia cheltuită pentru a deplasa sarcina q din punctul A în B.

V_A = potențialul punctului A,

V_B = potențialul punctului B.

După cum se vede în formulă, pentru a calcula energia necesară pentru deplasarea sarcinii q dela A la B, trebue să cunoaștem diferența de potențial între cele două puncte. Această diferență de potențial se mai numește și *tensiune*.

Tensiunea între două puncte este energia cheltuită pentru ca să deplasăm unitatea de sarcină pozitivă dela un punct la celălalt pe o linie de forță.

Între doi conductori care se află la același potențial și legați printr'un fir, nu se constată nicio trecere de electricitate.

Legând printr'un fir doi conductori încărcați cu electricitate pozitivă, însă la potențiale diferite, constatăm că are loc o trecere de electricitate dela conductorul cu potențial mai mare la conductorul cu potențial mai mic, până când potențialele celor doi conductori devin egale. Dacă conductorii sunt încărcați cu electricitate negativă la potențiale diferite, atunci trecerea de electricitate se face dela conductorul cu potențial mai mic la cel cu potențial mai mare.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă unim cu pământul un conductor încărcat pozitiv sau negativ, toată electricitatea de pe conductor se scurge la pământ. Vom considera totdeauna că potențialul pământului este zero.

Așa cum am văzut, diferența de tensiuue între doi conductori o putem compara cu diferența de nivel a apei între două vase. Dacă punem vasele în comunicație, apa se scurge din vasul cu nivel mai scăzut. Când nivelurile în cele două vase devin egale, apa nu se mai scurge dintr'un vas în altul.

Unitatea de potențial

Din formula $W = q\,(V_A - V_B)$; $V_A - V_B = \frac{W}{q}$ deducem identitatea definiției date potențialului, dela început; unitatea practică de potențial cât și de tensiune este voltul.

Voltul poate fi definit și în felul următor: el este tensiunea necesară sarcinii electrice de 1 coulomb, care, deplasându-se dela un punct la altul, să producă o energie de 1 joule.

79. Electrizarea prin influență

Experiență: Pentru a putea explica acest fel de electrizare, ne servim de o vergea metalică prevăzută, la mijlocul ei, cu un mâner izolator și de două electroscoape. Așezăm vergeaua pe sferele electroscoapelor și apropiem de unul din capete un baston de sticlă încărcat cu electricitate pozitivă *(fig. 123)*. Foițele electroscoapelor se vor distanța între ele, chiar când bastonul se află la oarecare distanță de vergeaua metalică. Dacă îndepărtăm bastonul de sticlă, foițele electroscoapelor se vor lăsa în jos. Inseamnă că electrizarea vergelei metalice a durat numai atâta timp cât ea s'a aflat în câmpul electric al bastonului de sticlă.

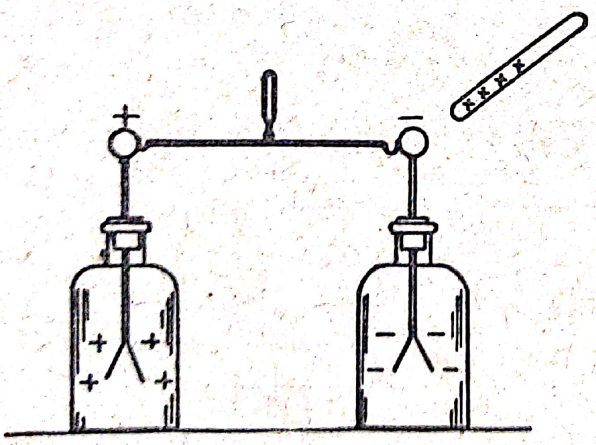


Fig. 123. Electrizarea prin influență

Pentru a determina felul electricității din vergeaua metalică procedăm astfel:

După ce apropiem, ca mai înainte, bastonul de sticlă încărcat cu electricitate pozitivă (la oarecare distanță de vergea), apucăm mânerul vergelei și o ridicăm în sus. Electroscoapele vor rămâne cu foițele depărtate. Constatăm că electroscopul care a fost mai aproape de bastonul de sticlă s'a încărcat cu electricitate negativă, iar celălalt cu electricitate pozitivă. Inseamnă că vergeaua s'a încărcat cu două feluri de electricitate: negativă lângă baston și pozitivă în cealaltă parte.

Dacă repetăm experiența cu un baston de ebonită încărcat cu electricitate negativă, constatăm că partea vergelei din spre baston se încarcă cu electricitate pozitivă, iar partea opusă cu electricitate negativă.

In general, dacă apropiem un conductor de un corp electrizat constatăm următoarele: pe partea conductorului mai apropiată de corpul electrizat se desvoltă electricitatea de semn contrar cu a corpului, iar pe partea mai depărtată a conductorului se desvoltă electricitatea de același semn cu a corpului electrizat. Cele două feluri de electricitate se desvoltă în conductor în cantități egale, deoarece prin îndepărtarea corpului electrizat, electricitatea din conductor dispare și conductorul rămâne în stare neutră. Acest fel de electrizare se numește *prin influență*.

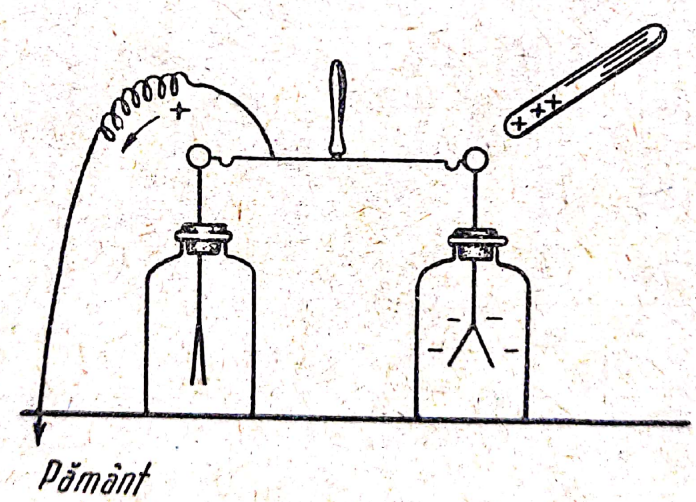


Fig. 124. Incărcarea cu electricitate a unei vergele metalice

Dacă vrem ca vergeaua metalică să rămână încărcată cu electricitate, o legăm de pământ, în timp ce bastonul electrizat se află în apropiere *(fig. 124)*. In acest mod se scurge la pământ electricitatea de același sens cu a bastonului, care

Scanned with OKEN Scanner

este respinsă de baston, iar electricitatea de semn contrar cu a bastonului, fiind atrasă de acesta, va rămâne în vergea. Indepărtăm legătura cu pământul și apoi îndepărtăm și bastonul. Vergeaua rămâne încărcată cu electricitate de semn contrar cu a bastonului. Dacă îndepărtăm mai întâiu bastonul și apoi legătura cu pământul, toată electricitatea din vergea se va scurge la pământ, pentrucă nu mai este bastonul care să țină în vergea electricitatea de semn contrar cu cea din baston.

80. Mașina electrostatică

Mașina electrostatică servește la producerea electricității în mod continuu.

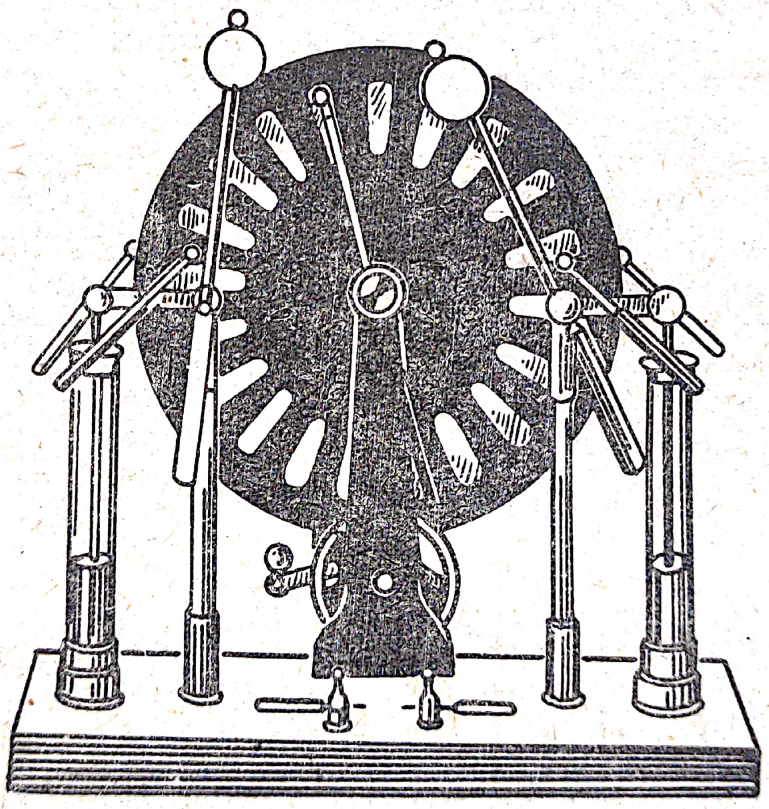


Fig. 125. Mașină electrostatică

In cele ce urmează vom descrie mașina electrostatică Wimshurst. Ea se compune din două discuri de ebonită sau de sticlă ce se rotesc în sens invers unul față de celălalt cu ajutorul unei manivele și a unei curele legată cruciș, între axul manivelei și axul ce trece prin mijlocul discurilor *(fig. 125)*.

Pe feţele din afară ale discurilor sunt lipite radical nişte foiţe de cositor. Pe aceste foiţe se freacă de fiecare parte câte două periuţe diametral opuse, legate la câte un conductor.

In părţile laterale, discurile sunt înconjurate de nişte conductori metalici cu dinţi în formă de pieptene. Fiecare pieptene este legat la câte o vergea metalică, care se termină cu câte o sferă. Sferele formează polii maşinii şi pot fi apropiate şi depărtate între ele cu ajutorul a două mânere izolatoare. Când discurile se învârtesc, periile se freacă de foiţele de cositor şi se produce electricitate care ajunge la piepteni şi de aci în cele două sfere ale maşinii. O sferă se încarcă pozitiv, iar cealaltă negativ.

81. Răspândirea electricităţii pe suprafaţa corpurilor. Densitate electrică

Am văzut că, frecând cu o blană de lână un baston de ebonită, un baston de sticlă, sau în general un corp izolant, acesta se electrizează numai pe locul unde a fost frecat. Electricitatea rămâne pe acest loc şi nu se răspândeşte mai departe. Dacă electrizăm însă un conductor, electricitatea se răspândeşte pe tot conductorul.

Electricitatea se răspândeşte numai pe suprafaţa exterioară a conductorilor, nu pătrunde şi în adâncimea lor. Pentru a arăta acest lucru facem următoarea experienţă: luăm un

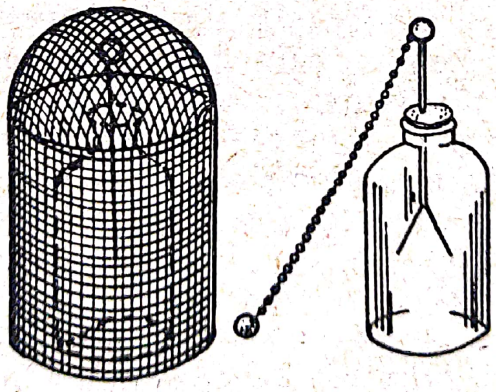


Fig. 126. Răspândirea electricităţii numai pe suprafaţa cilindrului metalic

cilindru din pânză metalică *(fig. 126)* pe care îl aşezăm pe o placă izolatoare. Faţa interioară a cilindrului o punem în legătură cu un electroscop situat în interiorul cilindrului, iar

Scanned with OKEN Scanner

fața exterfoară a cilindrului, o legăm la un electroscop ce se află în exterior. Dacă electrizăm cilindrul, atingând de el un baston de sticlă sau de ebonită electrizat prin frecare, vedem că numai foițele electroscopului exterior se vor depărta, ceea ce înseamnă că electricitatea s'a răspândit numai la suprafața cilindrului metalic. Electroscopul din interior rămâne în repaus, ceea ce înseamnă că în interior nu are electricitate.

82. Densitate electrică

Deosebim densitate electrică la izolanți și densitate electrică la conductori. La un corp izolant electricitatea se răspândește și în interiorul corpului. Densitatea electrică la un astfel de corp se numește *densitate electrică de volum*, și este cantitatea de electricitate ce se află în 1 cm^3 din izolant.

La un conductor, unde electricitatea se răspândește numai la suprafață, avem de a face cu *densitatea electrică de suprafață (superficială)*. Această densitate este cantitatea de electricitate răspândită pe 1 cm^2 din suprafața conductorului.

83. Condensatoare. Capacitate electrică. Diferite tipuri de condensatoare

Experiență: Să luăm două plăci metalice între care să așezăm un strat izolator format dintr'o foaie de hârtie impregnată cu parafină. Legăm cele două plăci metalice la bornele unei baterii de acumulatoare, ținându-se câtva timp. După ce întrerupem legătura cu bornele bateriei, vom constata că se va produce o scânteie electrică între capetele conductorului de legătură, atunci când le apropiem.

Fenomenul care s'a produs este următorul: în timpul cât dispozitivul a fost legat la bornele bateriei de acumulatoare, el s'a încărcat cu anumită cantitate de electricitate; în momentul când cele două borne se apropie, dispozitivul se descarcă brusc de cantitatea de electricitate pe care o înmagazinase, producând scânteia electrică.

Aparatul acesta se numește *condensator*. Cele două plăci metalice se numesc *armăturile electrice*, iar stratul izolator așezat între aceste plăci se numește *dielectric*.

Capacitate electrică

Un condensator este caracterizat prin capacitatea sa de a se încărca cu electricitate. Capacitatea reprezintă numărul de sarcini electrice necesare unui condensator (în apropierea căruia nu există alți conductori) pentru ca potențialul lui să crească cu o unitate.

Dacă notăm cu Q = cantitatea de electricitate din condensator și cu V = potențialul (tensiunea) lui, atunci fiecărei unități de potențial îi corespunde sarcina $\frac{Q}{V}$. Acest raport, după cum am spus mai sus, este tocmai capacitatea electrică a condensatorului *(C)*,

$$C = \frac{Q}{V} \text{ sau } Q = C \times V \text{ sau } V = \frac{Q}{C}$$

Capacitatea unui condensator este cu atât mai mare, cu cât suprafața plăcilor (armăturilor) este mai mare, cu cât distanța dintre plăci este mai mică și cu cât dielectricul este mai bun. Dielectricul este mai bun când are o constantă dielectrică mai mare.

In tabela de mai jos se dă valoarea constantei dielectrice (ε) pentru diferite materiale folosite în construcția condensatoarelor:

Materialul	ε
Aer	1
Hârtie	1,8—2,6
Mică	5—8
Sticlă	3—7
Porțelan	4,4
Cauciuc	2—2,7
Ulei de transformator	2—5
Izolația cablurilor de forță	4,3
Izolația cablurilor de telefon	1,6
Parafină	6

Scanned with OKEN Scanner

Unităţi de capacitate electrică

Unitatea practică de capacitate electrică este *faradul*. Se spune că un condensator are o capacitate electrică de 1 farad, atunci când fiind încărcat cu o cantitate de electricitate de 1 coulomb are o diferenţă de potenţial de 1 volt

$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ volt}}$$

Faradul fiind o unitate foarte mare, în practică se întrebuinţează microfaradul, care reprezintă a milioana parte dintr'un farad. Microfaradul se notează cu μ F.

Diferite tipuri de condensatoare

Condensatorul plan este format din două plăci metalice separate printr'un dielectric *(fig. 127)*. De multe ori condensatorul se leagă prin una din plăci la pământ. Formula cu ajutorul căruia se poate calcula capacitatea unui condensator în unităţi practice având armaturile plane, este următoarea:

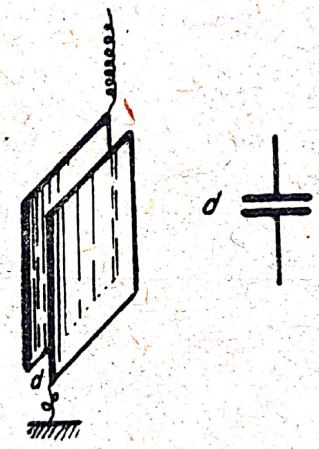


Fig. 127. Condensator plan

$$C = \frac{\varepsilon \times S}{1{,}13 \times 10^{13} \times e} \text{ farazi (F)}$$

In care:

ε = constanta dielectrică,
S = suprafaţa armăturilor în cm^2
e = depărtarea între armături în cm.

Scanned with OKEN Scanner

Condensatorul cilindric. Cel mai utilizat condensator cilindric este cunoscut și sub denumirea de *butelia de Leyda (fig. 128).*

In *fig. 128 a* se vede înfățișarea exterioară a buteliei, și modul de încărcare a ei. Butelia de Leyda este formată dintr'un

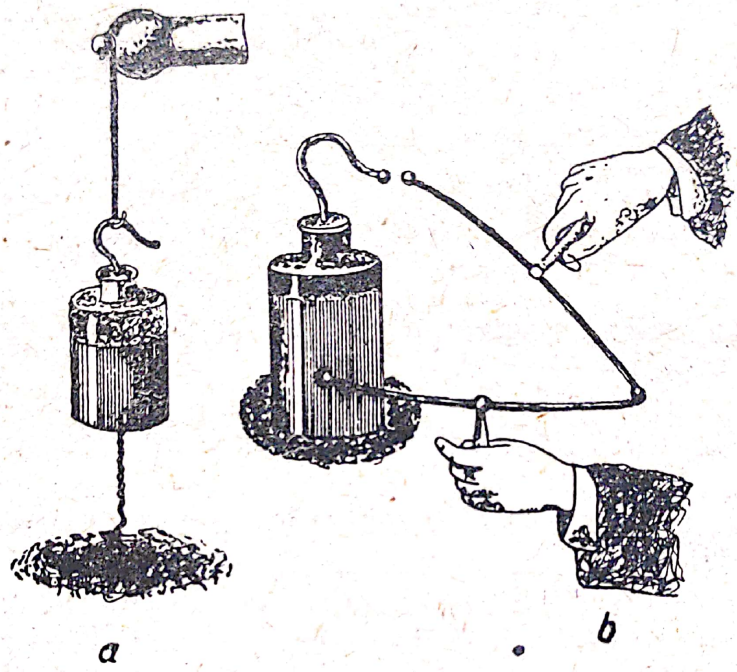


Fig. 128. Incărcarea buteliei de Leyda

vas cilindric de sticlă acoperit pe ambele fețe cu staniol (foiță de cositor) care formează armăturile buteliei. Armătura interioară este pusă în legătură, prin intermediul unei vergele metalice, cu o sferă. Incărcarea buteliei se face atingând sfera cu un corp electrizat și punând armătura exterioară în legătură cu pământul.

Condensatoare cu capacitate variabilă

Aceste condensatoare sunt formate din mai multe plăci fixe, având forma unei jumătăți de cerc, așezate paralel și fixate pe un suport metalic. Intre aceste plăci fixe se intercalează plăci, construite la fel, fixate pe ax, care pot fi rotite în jurul acestui ax *(fig. 129 și fig. 130).*

Aceste condensatoare se folosesc mai ales în construcţiile radiotehnice.

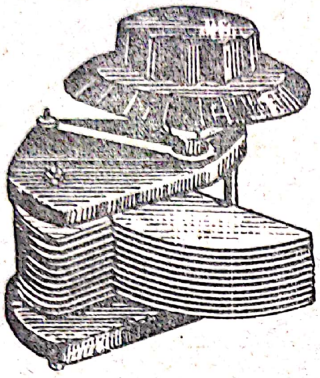


Fig. 129. Condensator cu capacitate variabilă

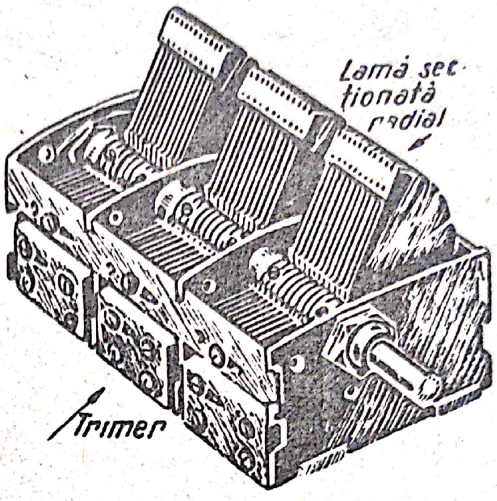


Fig. 130. Condensator cu capacitate variabilă

84. Capacitatea condensatoarelor electrice

O linie de transmisie a energiei electrice este construită din mai mulţi conductori, între care avem o anumită tensiune. De asemenea între fiecare conductor şi pământ avem o diferenţă de potenţial electric. Inseamnă că aceşti conductori formează armăturile unor condensatoare. In cazul liniilor electrice în aer, dielectricul este aerul. In cazul unui cablu, dielectricul este format de hârtia uleiată care izolează conductorii de cămaşa de plumb. Se numeşte *capacitatea de serviciu* a unei linii, raportul dintre sarcina electrică cu care se încarcă fiecare conductor şi diferenţa de potenţial dintre acel conductor şi cămaşa de plumb sau faţă de pământ. In manualele de specialitate se dau formulele cu ajutorul cărora se poate calcula capacitatea liniilor pentru transportul energiei electrice.

85. Incărcarea şi descărcarea condensatoarelor

Incărcarea unui condensator se face supunând armăturile lui la o tensiune electrică.

Descărcarea se face unind armăturile printr'un fir sau prin excitator. Excitatorul este un conductor articulat ce are un mâner izolator. In *fig. 128 b* se vede cum se descarcă o butelie de Leyda cu ajutorul excitatorului. Un capăt al excita-

torului se pune în contact cu armătura externă, iar celălalt capăt îl apropiem de sfera buteliei, până când între capătul excitatorului și sferă apare o scânteie care descarcă condensatorul.

Fenomenul de descărcare a unui condensator poate fi pus într'o formulă matematică. Astfel, dacă legăm printr'un fir metalic conductor cele două armături ale unui condensator, condensatorul se descarcă și diferența de potențial dintre armături devine egală cu zero. Dacă observăm fenomenele ce se petrec în apropierea firului conductor, observăm existența anumitor fenomene care dovedesc existența unui curent în fir (conductorul se încălzește, acul unei busole se deplasează).

Notăm cu i curentul ce trece prin fir într'un moment oarecare t. Să studiem cum variază sarcina condensatorului și intensitatea curentului în timpul descărcării, în următoarele două cazuri:

1. firul de legătură nu are autoinducție;
2. firul de legătură are autoinducție.

Primul caz: fie R rezistența firului, q și V cantitatea de electricitate și tensiunea condensatorului în momentul t, când prin fir trece curentul.

Variația lui q, respectiv i în funcție de timp este reprezentată în *fig. 131 a* și *b*.

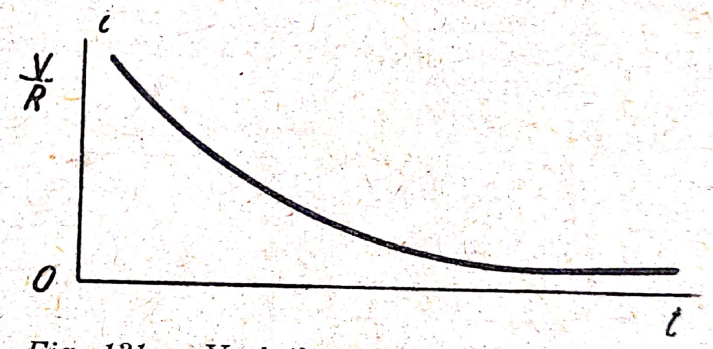


Fig. 131 a. Variația lui q în funcție de timp

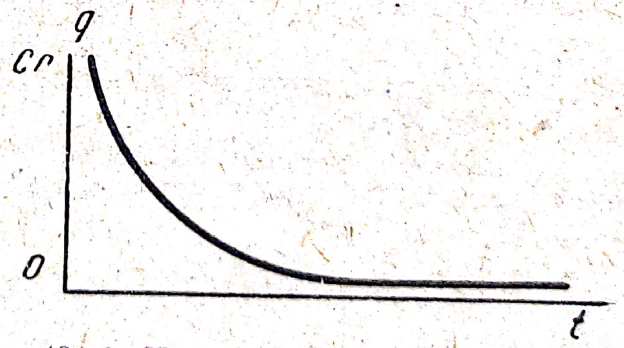


Fig. 131 b. Variația lui i în funcție de timp

Cazul doi: firul de legătură are un coeficient de autoinducție foarte mare, în comparație cu rezistența R.

In acest caz trebue să ținem seama, în afară de legea lui Ohm, și de forța electromotoare de autoinducție.

Se ajunge la o ecuație, care reprezentată grafic, dă curba

din *fig. 132* din care vedem că, datorită autoinducției puternice, descărcarea se face oscilant. Sarcina electrică q a condensatorului variază după o curbă sinusoidală amortisată.

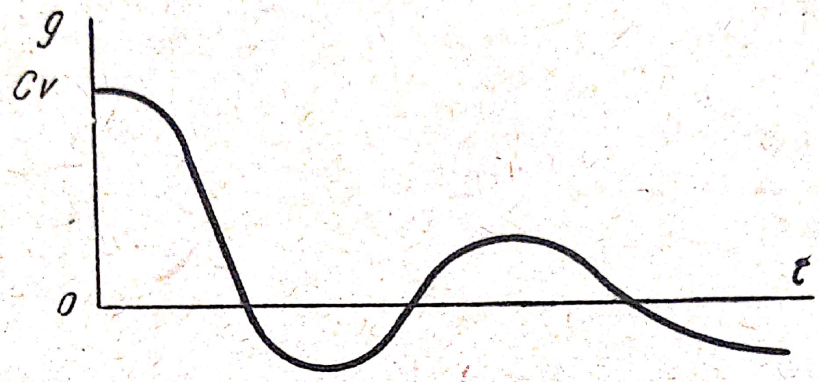


Fig. 132. Variația sarcinii electrice q a condensatorului la descărcare

Exerciții

1. Să se afle capacitatea unui condensator plan cu dimensiunile 4×6 cm știind că între armături se află parafină și apoi un strat de mică cu grosimea de 0,3 mm (0,03 cm).

De asemenea să se afle capacitatea când între armături avem un strat de hârtie sau de aer de aceeași grosime.

Pentru parafină:

$$C = \frac{\varepsilon \times S}{1{,}13 \times 10^{13}\, e} = \frac{6 \times 24}{1{,}13 \times 10^{13} \times 0{,}03} = \frac{144}{3{,}39 \times 10^{11}} = 42{,}3 \times 10^{-5}\ \mu\ \text{F}$$

Pentru hârtie:

$$C = \frac{\varepsilon \times S}{1{,}13 \times 10^{13}\, e} = \frac{2 \times 24}{1{,}13 \times 10^{13} \times 0{,}03} = 14{,}1 \times 10^{-5}\ \mu\ \text{F}$$

Pentru aer:

$$C = \frac{\varepsilon \times S}{1{,}13 \times 10^{13} \times e} = \frac{1 \times 24}{1{,}13 \times 10^{13} \times 0{,}03} = 7{,}08 \times 10^{-5}\ \mu\ \text{F}$$

Din aceste exemple se vede că, pentru un același condensator, capacitatea este cu atât mai mare cu cât constanta dielectrică a materialului izolant este mai mare.

2. Care este capacitatea unui condensator plan, având armăturile cu o suprafață $S = 1\text{m}$, o grosime a dielectricului $e = 1$ mm $= 0{,}1$ cm și o constantă dielectrică $\varepsilon = 5$.

$$C = \frac{\varepsilon \times S}{1{,}13 \times 10^{13}\, e} = \frac{5 \times 10\,000}{1{,}13 \times 10^{13} \times 0{,}1} = 0{,}0442 \times 10^{-6}\ \text{F}$$

$$C = 0{,}0442\ \mu\ \text{F}$$

3. Care este cantitatea de electricitate cu care se încarcă acest condensator, atunci când este supus la o diferență de potențial $V = 1000$ V?

$Q = CV = 0{,}0442 \times 10^{-6} \times 1000 = 0{,}0442 \times 10^{-3}$ coulombi

86. Legarea condensatoarelor

Dacă vrem să avem un condensator de o capacitate mai mare, nu este necesar să construim un condensator cu plăci având o suprafață foarte mare, ceea ce ar fi practic imposibil. Este suficient însă să luăm un număr oarecare de condensatoare și să legăm împreună plăcile de același fel. Aceasta revine la a lega condensatoarele în paralel.

Capacitatea rezultată va fi deci egală cu suma capacităților fiecărui condensator în parte. Vom avea deci:

$$C = C_1 + C_2 + \ldots + C_n$$

Dacă legăm condensatoarele în serie, capacitatea rezultantă este dată de relația:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}$$

O grupare de condensatoare, fie în paralel, fie în serie, fie mixt, formează o baterie de condensatoare.

Se observă o analogie cu legarea pilelor, cu deosebire că, formula de legare a condensatoarelor în paralel este analoagă cu formula de legare a pilelor în serie, iar formula legării condensatoarelor în serie este egală cu formula legării pilelor în paralel.

Am văzut că, cantitatea de electricitate cu care se încarcă un condensator când este supus unei diferențe de potențial este dată de relația:

$$Q = C\,V \text{ coulombi}$$

unde:

C se introduce în farazi,
V „ „ „ volți.

In cazul unei baterii de condensatoare legate în paralel, cantitatea totală de electricitate cu care se încarcă un con-

densator este egală cu suma cantităţilor de electricitate cu care se încarcă fiecare condensator în parte, adică:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n$$

In cazul condensatoarelor montate în serie, cantitatea de electricitate cu care se încarcă bateria este egală cu cantitatea de electicitate cu care se încarcă fiecare condensator în parte.

In cazul când capacităţile condensatoarelor respective sunt diferite, fiecare condensator va lua din diferenţa de potenţial dela bornele bateriei o parte, astfel ca să avem aceeaşi cantitate de electricitate depusă pe armăturile legate în serie.

Observaţii. Un condensator se comportă diferit după cum este legat într'un circuit de curent continuu sau într'un circuit de curent alternativ. Dacă formăm un asemenea circuit, legând şi un ampermetru, vom constata că, în cazul curentului continuu, nu va curge niciun curent: condensatorul se comportă ca o rezistenţă de izolaţie care întrerupe curentul; în cazul curentului alternativ, un ampermetru pentru curent alternativ va arăta existenţa unui curent; condensatorul se comportă în cazul curentului alternativ, ca o rezistenţă,

Aplicaţii numerice

1. O baterie formată de trei condensatoare, având capacităţile:

$C_1 = 0{,}1$ μ F, $C_2 = 0{,}2$ μ F şi $C_3 = 0{,}5$ μ F, se montează în serie. Se cere:

a) Care este cantitatea de electricitate cu care se încarcă bateria de condensatoare atunci când este supusă unei diferenţe de potenţial de 100 V?

b) Care este cantitatea de electricitate cu care se încarcă fiecare condensator?

c) Care este diferenţa de potenţial la bornele fiecărui condensator?

Rezolvare:

a) Capacitatea bateriei este:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{0{,}1} + \frac{1}{0{,}2} + \frac{1}{0{,}5}; \quad C = \frac{1}{17} = 0{,}059 \text{ μ F.}$$

Cantitatea de electricitate:

$$Q = C\ V = 5{,}9 \times 10^{-6} \text{ coulombi.}$$

b) Cantitatea de electricitate cu care se încarcă fiecare condensator în cazul montajului în serie, este egală cu cantitatea de electricitate cu care se încarcă toată bateria.

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = 5{,}9 \times 10^{-6} \text{ coulombi.}$$

Scanned with OKEN Scanner

c) Diferența de potențial la bornele fiecărui condensator:

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{5{,}9 \times 10^{-6}}{0{,}1 \times 10^{-6}} = 59 \text{ volți}$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{5{,}9 \times 10^{-6}}{0{,}2 \times 10^{-6}} = 29{,}5 \text{ volți}$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{5{,}9 \times 10^{-6}}{0{,}5 \times 10^{-6}} = 11{,}5 \text{ volți}$$

Se vede că $V = V_1 + V_2 + V_3 = 59 + 29{,}5 + 11{,}5 = 100$ volți

2. Aceeași problemă ca mai sus în sensul când condensatoarele se leagă în paralel:

a) $C = C_1 + C_2 + C_3 = 0{,}8\ \mu F$

$Q = C\ V = 0{,}8 \times 10^{-6} \times 100 = 8 \times 10^{-5}$ coulumbi.

b) $Q_1 = C_1 \times V = 0{,}1 \times 10^{-6} \times 100 = 1 \times 10^{-5}$ coulumbi

$Q_2 = C_2 \times V = 0{,}2 \times 10^{-6} \times 100 = 2 \times 10^{-5}$ coulombi

$Q_3 = C_3 \times V = 0{,}5 \times 10^{-6} \times 100 = 5 \times 10^{-5}$ coulombi

c) Tensiunea la bornele fiecărui condensator este V, aceeași tensiune ca la bornele întregii baterii de condensatoare.

Energia condensatoarelor

Intre cele două armături ale unui condensator avem un câmp electric de intensitate egală cu

$$E = \frac{V}{L}$$

unde:

V (volți) este tensiunea între armăturile condensatoarelor și L (cm) distanța între ele.

Am văzut că un condensator de capacitate C (farazi) pus sub o tensiune V (volți) se încarcă cu o cantitate de electricitate Q (coulombi) care se calculează cu relația $Q = C\ V$.

Incărcarea unui condensator cu sarcini electrice înseamnă ridicarea potențialului la armăturile lui. Această operațiune necesită cheltuirea din afară a unei anumite energii. Lucrările sunt analoage cu ceea ce se întâmplă atunci când un corp se deplasează cu vitesa v. Se cheltuește o anumită energie, care se va înmagazina într'un corp sub formă de energie potențială.

Scanned with OKEN Scanner

La fel în câmpul electric dintre armăturile condensatorului se înmagazinează energia potențială.

$$W = \frac{1}{2} Q V = \frac{1}{2} C V^2, \text{ iar în jouli } W = \frac{1}{2} C V^2 \times 10$$

unde:

W = energia este calculată în jouli,
Q = cantitatea de electricitate în coulombi,
C = capacitatea în farazi,
V = tensiunea în volți.

In același fel: energia unui corp de masă m, ce se cheltuește pentru a fi adusă la vitesa v, este dată de o formulă analoagă:

$$W = \frac{1}{2} m v^2$$

Aplicații

1. Care este energia ce se înmagazinează în câmpul magnetic al unui condensator de capacitate $C = 1$ μ F, pus sub o tensiune de 10 000 V

$$W = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} 1 \times 10^{-6} (10^4)^2 = \frac{10^2}{2} = 50 \text{ jouli.}$$

2. Dacă un condensator absoarbe, pentru încărcarea sa dela o sursă cu tensiunea V = 10 000 V, o energie de 10 jouli, se cere care este cantitatea de electricitate de pe armăturile sale.

$$Q = \frac{2 W}{V} = \frac{2 \times 10}{1000} = 0{,}02 \text{ coulombi (C)}$$

87. Electricitatea atmosferică

Fulgerul

Fulgerul este o scânteie electrică foarte mare care se produce între doi nori, unul fiind încărcat cu electricitate pozitivă, iar celălalt cu electricitate negativă. Fulgerul are forma de zig-zag. Grosimea este de 40—50 cm, și de cele mai multe ori are ramificații. Lungimea lui poate ajunge până la 10 km, iar intensitatea curentului produs de fulger este cam de 20 000 amperi. Tensiunea la care este supus fulgerul este cam de 10 milioane volți.

Trăsnetul

Când scânteia electrică se produce între un nor şi pământ, avem trăsnetul. El cade de obiceiu asupra corpurilor mai înalte de pe pământ. Efectele trăsnetului sunt *mecanice*, adică distruge corpurile pe care cade, *calorifice*, adică incendiază corpurile şi *fiziologice*, adică electrocutează fiinţele sau produce rănirea organelor.

Trăsnetul se produce astfel: dacă un nor electrizat, de ex. pozitiv, trece pe deasupra unui corp înalt de pe pământ, electricitatea pozitivă a norului atrage pe cea negativă a corpului iar pe cea pozitivă o respinge în pământ. Dacă norul se află la o distanţă nu prea mare de corp, atunci electricitatea pozitivă a norului şi cu cea negativă a corpului se combină şi dau trăsnetul care cade asupra corpului.

Cele mai expuse trăsnetului vor fi casele înalte, copacii, căpiţele de fân pe câmp întins, etc.

Tunetul

Tunetul este sgomotul care însoţeşte fulgerul sau trăsnetul. Explicaţia lui este următoarea: când se produce scânteia, aerul din jur se încălzeşte, se dilată şi, devenind mai uşor, se ridică în sus. Aerul rece din jur vine să-i ia locul cu o mişcare puternică care produce sgomotul tunetului. Tunetul se aude după un timp dela apariţia fulgerului sau a trăsnetului, aceasta din cauză că iuţeala de propagare a sunetului este mai mică decât a luminii, aşa că sgomotul tunetului va ajunge mai târziu la noi decât lumina scânteii, pe care o vedem chiar în momentul în care se produce.

Paratrăsnetul

Este un conductor metalic lung şi cu un vârf sau mai multe ascuţite care se aşază deasupra clădirilor pentru a le apăra de trăsnet. Conductorul are un vârf inoxidabil (să nu ruginească, rugina fiind rea conducătoare de electricitate). Paratrăsnetul este legat la pământ printr'un conductor metalic de vreo 100 mm^2 secţiune de aramă sau fier bine cositorit şi bine legat electric pe toată lungimea lui şi cât mai direct cu pământul prin plăci metalice ce se introduc în pământ în straturile umede sau îmbibate cu apă.

Scanned with OKEN Scanner

Acțiunea paratrăsnetului este următoarea: un nor încărcat cu electricitate pozitivă (de ex.), atrage o sarcină negativă către vârful paratrăsnetului. Vârful paratrăsnetului, fiind ascuțit, permite electricității negative, atrasă de nori, să se scurgă lent prin aer până ce neutralizează sarcina pozitivă a norului.

CAP. X. DIVERSE FENOMENE ELECTRICE

88. Descărcarea electrică

Trecerea electricității de pe un corp pe altul se numește descărcare electrică. Descărcarea electrică poate fi:

a) conductivă,
b) disruptivă.

Descărcarea este *conductivă* când sarcina electrică trece printr'un mediu mai mult sau mai puțin conductor, de ex. printr'un fir metalic, o sfoară udă, etc. In capitolele de până acum am studiat circulația sarcinilor electrice prin conductori și efectele magnetice produse.

Descărcarea este *disruptivă* când sarcina electrică străpunge un izolant, trecând brusc, sub formă de scânteie. Acest fenomen se produce atunci când diferența de potențial între doi conductori sau două corpuri depășește o anumită valoare.

Numim *potențial exploziv*, cel mai mic potențial necesar ca să producă scântei electrice între doi conductori care se găsesc la o distanță dată.

Descărcările electrice sunt vizibile la întuneric sub forma unor firișoare luminoase de coloare violacee, ce se preling pe suprafața izolantului. Ele se produc când conductorii electrizați se sprijină pe o placă izolantă și pentru diferențe de potențial mari. Acest fenomen se mai poate produce când mărim treptat, treptat, încărcarea unui conductor; la un moment dat, din cauza câmpului electric prea intens, aerul din jurul conductorului devine bun conducător și se produce o descărcare sub forma unei luminiscențe violacee, vizibilă mai ales pe întunerec și mai ales spre porțiunile ascuțite ale suprafaței, sau în dreptul firelor de praf depuse pe suprafață; aceste descărcări sunt numite *efluvii*; ele se produc continuu și fără sgomot; se pot observa la mașinile electrostatice, când funcționează la întunerec.

Scanned with OKEN Scanner

Efectul Corona

Este pătura luminoasă din jurul liniilor electrice de înaltă tensiune 110 000 — 440 000 volți sau în jurul unui conductor electrizat la potențial ridicat, datorită efluviilor electrice. Acest efect limitează tensiunea sub care se transportă energia electrică.

Efectul Corona reprezintă o pierdere de energie. De asemenea, datorită efectului Corona, se produce deformarea undei de curent transportată pe linia electrică.

Ionizarea gazelor

Un gaz, sub acțiunea razelor ultraviolete sau razelor X, etc., se disociază în ioni pozitivi și negativi, se ionizează și devine bun conducător; un corp electrizat, dacă se găsește în aer ionizat, se descarcă, revenind la starea neutră prin atragerea ionilor negativi sau pozitivi după caz. Un câmp electric intens face același lucru asupra gazelor rarefiate (tub Geissler).

Luminiscență, fluorescență, fosforescență

Diverse corpuri, sub acțiunea unor anumite forme de energie, posedă proprietatea de a emite radiații vizibile, fie numai cât sunt sub influența acelor acțiuni, fie și după încetarea acțiunii anterioare: sunt luminiscente, nu incandescente.

Fluorescența este o luminiscență care încetează odată cu acțiunea exterioară; dacă sunt supuse razelor violete, unele corpuri se ilumineză albăstrui; dar niciodată nu devin luminiscente sub razele roșii, galbene, albastre.

Din contra, diamantele, sulfurile de Ca, de Ba, de Zn, expuse la lumina albă intensă rămân luminoase și după încetarea acțiunii, un timp oarecare. Această proprietate se numește fosforescență. Radiațiile fosforescente sunt mai aproape de roșu; corpurile perfect pure nu sunt fosforescente.

89. Descărcările electrice în gaze

Gazele, la presiunea atmosferică, sunt rele conducătoare de electricitate.

Rezistența electrică a unui tub cu gaz este atât de mare, încât dacă tubul se leagă la o sursă de curent, prin coloana de gaz nu se scurge decât un curent foarte mic. Pentru a face

Scanned with OKEN Scanner

coloana de gaz bună conducătoare de electricitate şi a provoca o descărcare electrică în gaz, tensiunea utilizată trebue să fie foarte mare, iar presiunea gazului din tub foarte mică.

H. Geissler a fabricat nişte tuburi de sticlă în care presiunea gazului din ele poate fi micşorată încetul cu încetul, cu ajutorul unei pompe de vid, inventată tot de el *(fig. 133)*.

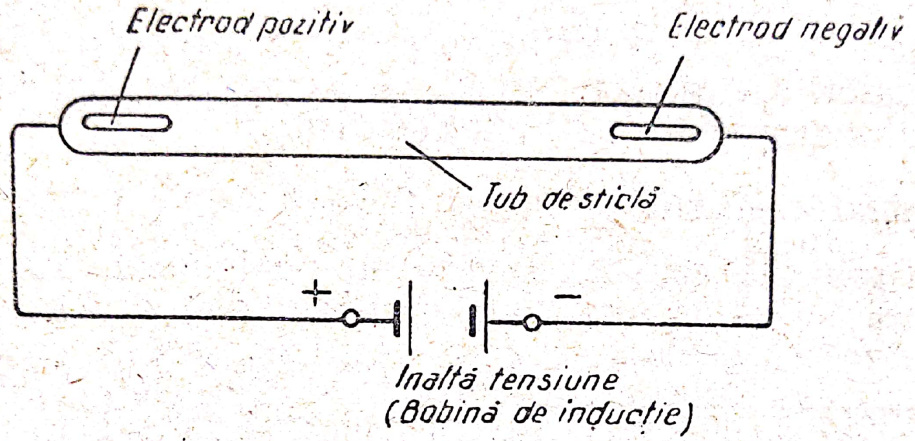


Fig. 133. Tub Geissler

La capetele acestor tuburi sunt fixaţi, prin topirea sticlei, doi electrozi, formaţi din fire de platină. Electrozii se leagă la bornele unei bobine Ruhmkorff; cel legat la polul pozitiv poartă numele de anod, iar cel legat la polul negativ se numeşte catod; (deşi bobina Ruhmkorff dă descărcări oscilante sub formă de scântei, totuşi ea are o polaritate care corespunde trecerii curentului indus de întrerupere, care este mult mai puternic decât cel de închidere al circuitului primar). Dacă în tub este aer la presiunea atmosferică şi bobina este destul de puternică, vor trece descărcări prin aer ca nişte scântei şerpuite.

Dacă scoatem aerul din tub, până ajungem aproape de presiunea 1 cm coloană de mercur, observăm că descărcarea trece mai uşor şi ia forma unei coloane luminoase de coloare roşiatică, numită lumină pozitivă (fiindcă pleacă dela anod) şi se întinde până aproape de catod.

Continuând scoaterea aerului din tub observăm că lumina pozitivă se întinde în lungul şi largul tubului, umplându-l complet; când presiunea a ajuns la 1 mm coloană de mercur, coloana luminoasă se împarte în stratificaţii perpendiculare pe axa tubului, alternând straturile luminoase cu straturile întunecoase.

Intre coloana luminoasă și catod, rămâne o zonă întunecoasă, numită spațiul întunecos al lui Faraday; în același timp catodul se acopere cu un înveliș subțire luminos care se îngroașă pe măsură ce presiunea descrește.

Când presiunea descrește până la 1 mm coloană de mercur, acest înveliș se desprinde de catod și între aceasta și spațiul întunecos ia naștere un alt spațiu întunecos, numit uneori și spațiul întunecos al lui Crookes; acest spațiu se răspândește pe măsură ce presiunea scade, iar pereții tubului în apropierea catodului devin fluorescenți (dau o lumină verzuie); micșorând presiunea sub 1 mm coloană de mercur, spațiul întunecos se întinde și poate ajunge chiar până la capătul opus al tubului, al cărui perete devine fluorescent, adică se luminează cu o lumină verzuie slabă; această fluorescență se datorește unei descărcări invizibile, care pornește dela catod; punând în tub bucățele de substanță diferite, ele devin fluorescente și dau colori diferite; de ex. creta portocalie, diamantul verde, rubinul roșu, cristalul albastru, sticla verzuie.

Dacă se fixează un cerc de tablă de metal, se observă umbra cercului pe fundul tubului, deci razele pornite dela catod (raze catodice) se propagă în linie dreaptă (sunt oprite în cerc); ele provoacă fluorescența sticlei, numai acolo unde o ating.

Dacă se apropie de acest tub cu raze catodice un magnet, ele sunt deviate din drumul lor. Rezultă deci că razele catodice sunt alcătuite din particule de electricitate în mișcare.

Crookes a așezat în tub pe două vergele subțiri de sticlă axul unei rotițe ușoare cu patru aripioare subțiri din foi de mică; când trece descărcarea prin tub, morișca se învârtește din ce în ce mai repede; acest fapt demonstrează că razele catodice apasă și lovesc aripioarele moriștii de mică.

Dacă într'un tub Crookes se fixează un catod format dintr'o cupă de aluminiu, razele catodice care pornesc de pe suprafața cupei și cad pe o foiță de platină subțire, provoacă încălzirea atât de puternică a acesteia încât devine incandescentă și poate chiar să se topească.

Aceasta dovedește că razele catodice transportă cu ele foarte multă energie mecanică.

Proprietățile razelor catodice sunt:

a) se propagă în linie dreaptă;

b) produc efecte chimice, mecanice, termice și luminoase;

c) impresionează plăcile fotografice, alterează natura multor corpuri pe care cad;

Scanned with OKEN Scanner

d) produc fluorescența sticlei, cristalului, diamantului, sulfurii de zinc, cretei, etc. și încălzesc corpurile pe care le întâlnesc, de ex. lama de platină așezată în focarul catodului; ele sunt penetrante, adică străbat diferite substanțe precum ar fi o foaie subțire de aluminiu;

e) sunt deviate de un magnet, sau în general de un câmp magnetic; de ex., dacă plimbăm un magnet în apropierea cercului de aluminiu din tub, umbra lui se mută după cum mișcăm magnetul.

J. Perrin a dovedit că razele catodice sunt alcătuite din electronii proveniți din disocierea atomului gazului din tub sau ai catodului sub influența tensiunii înalte aplicate la bornele tubului.

O aplicație practică a descărcărilor electrice în gaze, sub presiune mai mare de 1 mm coloană de mercur este iluminarea firmelor luminoase, care se obțin cu ajutorul tuburilor de sticlă umplute cu un anumit gaz sub o presiune foarte mică; acestea sunt tuburile luminoase cu gaze nobile; de ex. cu neon, dacă apare lumina roșie; cu argon, mercur, lumina albastră; cu heliu, lumina roz deschis, etc.

Razele pozitive

Dacă razele catodice sunt alcătuite din electroni proveniți din disocierea atomilor gazului din tub, rezultă că acești atomi care au pierdut electronii au sarcini electrice pozitive (ioni pozitivi), ce vor fi atrași de catod; aceștia dau naștere razelor pozitive.

Existența acestor raze s'a constatat astfel:

Se găurește catodul unui tub Crookes. In timpul descărcării, prin acel orificiu va trece un fascicol de raze în spatele catodului (razele pozitive). Acestea sunt deviate de un câmp magnetic sau electric în sens invers razelor catodice, ceea ce dovedește că aceste raze transportă electricitate pozitivă.

90. Razele X

Röntgen, în una din experiențele lui, a închis tubul cu raze catodice într'o cutie de carton; el observă că un ecran vopsit cu platinocianură de bariu (substanță fluorescentă) devenea luminos când se produceau raze catodice în tub; deci niște raze necunoscute străbăteau pereții de sticlă ai tubului

și ai cutiei de carton; aceste raze, s'a constatat că impresionau o placă fotografică învelită în hârtie neagră și închisă într'o cutie de carton; acestea sunt raze foarte pătrunzătoare, invizibile, și s'au numit raze X. Ele iau naștere atunci când o placă de metal, perete de sticlă, etc., sunt lovite de razele catodice *(fig. 134)*.

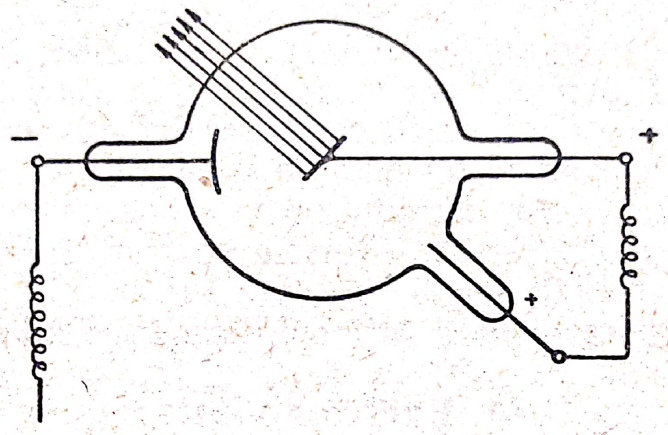


Fig. 134. Producerea razelor X

Proprietatea razelor X

a) se propagă în linie dreaptă și se pot reflecta și refracta;

b) produc fluorescența sticlei, platinocianurei de bariu;

c) nu sunt deviate de către un magnet, de câmpurile magnetice și electrice (nu transportă sarcini electrice). Produc ionizarea corpurilor prin care trec și de aceea descarcă corpurile încărcate cu electricitate;

d) pot schimba coloarea corpurilor, de ex. cristalul; (coloarea roșie a rubinului devine verde);

e) impresionează plăcile fotografice (întrebuințare în radiografie);

f) au o vitesă egală cu vitesa luminii și o lungime de undă mai mică decât a luminii;

g) pot străbate unele corpuri opace, destul de groase; de asemenea prin corpurile formate din C, H, O, N, ca hidrocarburile albuminoide. Plumbul fiind cel mai opac pentru aceste raze, se întrebuințează ca protecție contra acestor raze;

h) distrug celulele, mai ales când acestea sunt expuse un timp mai îndelungat.

Scanned with OKEN Scanner

Razele X impresionează o placă fotografică, deci cu ajutorul lor putem obține fotografia unui obiect oarecare.

Proba fotografică obținută astfel, se numește *radiografie*; obiectul se așază deasupra unui film de acetoceluloză neinflamabilă și sensibilizat pe una din fețe și în fața unui tub legat cu o bobină puternică.

Dacă așezăm mâna între un tub Crookes în acțiune și un ecran fluorescent de platinocianură de bariu și privim de cealaltă parte a ecranului, observăm că razele X pătrund prin carne și sunt oprite de oase; de acest fenomen se servesc medicii pentru a observa corpurile străine din corpul omenesc, pentru a vedea orice fractură a unui os, sau pentru fixarea diagnosticului. Părțile corpului omenesc ce se expun razelor X nu se expun multă vreme, fiindcă se vor inflama și produce dureri.

Razele X au o mare întrebuințare în medicină.

91. Radioactivitatea

Razele X pornesc din regiunea tubului de sticlă, care devin fluorescente galben-verzui când sunt lovite de razele catodice. Oamenii de știință și-au pus întrebarea dacă nu cumva cauza lor este chiar fluorescența. Cercetările făcute în acest domeniu au stabilit că corpurile fosforescente, ca de ex. sulfatul dublu de uraniu și potasiu emit raze care impresionează placa fotografică învelită în hârtie neagră, ca și razele X. S'a stabilit însă că sunt și corpuri lipsite de fosforescență ca de ex. uraniul, care pot impresiona placa fotografică; deci nu fosforescența sau fluorescența este origina radiațiunilor, ci însăși substanța, ca: uraniul și compușii lui. Proprietatea specială a acestor substanțe, s'a numit radioactivitate.

Razele emise de uraniu au proprietatea de a ioniza gazele și de a descărca un electroscop.

Soții Curie au descoperit că și toriul este o substanță radioactivă. Studiind radioactivitatea minereului numit pechblendă (un amestec de oxid de uraniu și de alte metale), ei au constatat că are o radioactivitate mai mare decât oxidul de uraniu și că aceasta se datorește celor două elemente noi din compoziția mineralului, poloniul și radiul, care sunt mult mai radioactive decât uraniul.

Prin substanțe radioactive se înțeleg acele substanțe care

Scanned with OKEN Scanner

în mod spontan și fără o cauză exterioară cunoscută, emit radiațiuni analoage acelora care iau naștere în tubul Crookes.

Aceste radiațiuni care iau naștere în tubul Crookes sunt de trei feluri:

a) *raze catodice*, formate din electroni;

b) *raze pozitive*, formate din atomii care au pierdut unul sau mai mulți electroni;

c) *raze X* asemănătoare cu razele de lumină însă de o lungime de undă mult mai scurtă.

Radiațiunile emise de către substanțele radioactive sunt constituite din trei feluri de raze:

a) raze alfa;

b) raze beta;

c) raze gama.

Dacă într'o concavitate făcută într'un bloc de plumb, se pune o mică cantitate de săruri de radiu *(fig. 135)*, acestea emit raze care impresionează o placă fotografică.

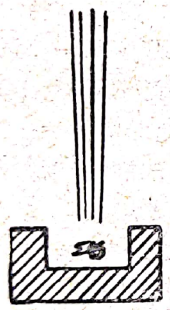


Fig. 135. Razele emise de sarea de radiu

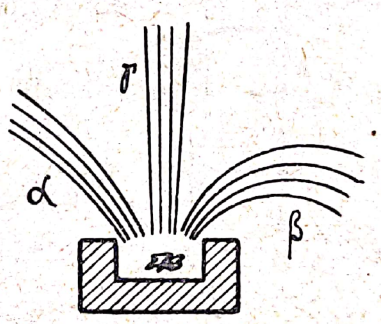


Fig. 136. Razele emise de sarea de radiu așezate într'un câmp magnetic sau electric

Dacă așezăm blocul de plumb cu sarea de radiu într'un câmp magnetic sau într'un câmp electric, se observă că razele emise se despart (separă) în trei fascicole de raze: cele deviate spre stânga s'au numit raze alfa (α), cele deviate spre dreapta raze beta (β), iar cele nedeviate raze gama (γ) *(fig. 136)*.

Ținându-se seama de acțiunile câmpului magnetic sau electric, s'a dedus că razele alfa sunt formate din particule pozitive, razele beta din particule negative, iar razele gama se aseamănă cu razele X.

Proprietățile acestor raze sunt următoarele:

1. Razele alfa, alcătuite din particule pozitive, au o viteză de propagare de 20000 km/s, sunt puțin pătrunzătoare (nu

trec prin sticlă) și sunt absorbite de un strat de aer de câțiva cm. Ele impresionează placa fotografică.

2. *Razele beta* sunt alcătuite din electroni ce se mișcă cu o vitesă foarte mare, aproape de vitesa luminii, sunt mai pătrunzătoare decât razele alfa (pot străbate o placă de aluminiu de 7 cm grosime) și impresionează placa fotografică.

3. *Razele gama* sunt de natura radiațiunilor electromagnetice. Se aseamănă cu razele de lumină și cu razele X și impresionează placa fotografică.

Razele alfa, beta și gama produc efecte chimice, descompun apa, colorează în violet sau în brun sticla și porțelanul, reacționează asupra celulelor animale și vegetale pe care le alterează sau chiar le distrug, când își prelungesc acțiunea asupra lor; ele au o mare putere de ionizare, mai ales razele alfa.

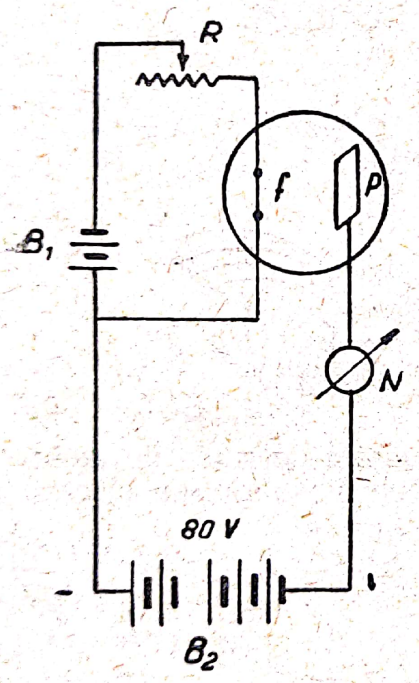


Fig. 137. Lampa cu doi electrozi

Am cercetat până acum fenomene în care existența electronilor s'a manifestat:

a) printr'o deplasare de electroni în și pe corpurile conducătoare (electrizare sau curent electric).

b) prin desprinderea electronilor din materie și punerea lor în libertate (electronii din razele catodice).

92. Fenomene termoelectronice

Dacă un fir metalic subțire este încălzit până la incandescență cu un curent electric, firul capătă proprietatea de a emite nu numai căldură și lumină, dar și electricitate negativă.

Iată cum s'a dovedit experimental că un fir metalic incandescent emite electroni.

Intr'un glob de sticlă se află un fir subțire f de tungsten, legat prin fire de platină care trec prin sticlă, cu cei doi poli ai unei baterii electrice de 4 volți B_1 și cu o rezistență R în circuit, care permite încălzirea, mai mult sau mai puțin a firului f (filament). In fața filamentului este o placă P de nichel, legată la polul pozitiv al unei baterii B_2 de 80

volți, iar celălalt pol al bateriei de încălzire B_2 este legat cu polul negativ al bateriei de încălzire B_1. Din globul de sticlă s'a scos aproape tot aerul. In circuitul plăcii se așază un miliampermetru *N (fig. 137)*.

Atât timp cât filamentul este rece, miliampermetrul nu arată trecerea vreunui curent sau descărcarea între filament și placă. Dacă curentul de încălzire trece prin filament până ce acesta devine incandescent, observăm că miliampermetrul arată trecerea unui curent foarte slab dat de bateria B_2, care trece prin spațiul dintre placă și filament și prin filament merge la polul negativ al bateriei B_2.

Cum poate trece acest curent prin spațiul dintre placă și filament?

In filamentul încălzit, electronii se află într'o agitație extraordinară; cei dela suprafața filamentului, loviți de cei din interiorul lui, sar de pe fir și creează în jurul filamentului un nor de electroni. Placa *P* fiind încărcată pozitiv, va atrage electronii. Deci în spațiul dintre filament și placă avem electroni care închid circuitul plăcii și care alcătuesc curentul arătat de către miliampermetru.

Acest fenomen se numește *fenomen de emisiune termoelectronică*, fiindcă filamentul emite electroni prin încălzirea lui.

Emisiunea de electroni depinde de temperatura filamentului.

Dacă legăm placa *P* la polul negativ al bateriei B_2, curentul nu mai circulă, deoarece placa, fiind încărcată cu electricitate negativă, respinge electronii.

Curentul termoelectronic nu trece decât atunci când placa este pozitivă.

Dacă legăm placa la una din bornele unui generator de curent alternativ, iar la cealaltă bornă legăm filamentul încălzit, în jumătatea de perioadă în care placa este pozitivă curentul electric va trece și prin lampă, iar în cealaltă jumătate de perioadă, placa fiind negativă, va respinge electronii, deci nu va trece niciun fel de curent. Lampa cu doi electrozi (filament și placă) se comportă deci ca o supapă electrică: ea se mai numește *kenotron* și se întrebuințează la redresarea curentului electric alternativ în curent continuu.

Intr'un tub de forma tuburilor Crookes, cu un catod format dintr'un filament ce poate fi încălzit până la incandescență (când va emite electroni) și un anticatod format dintr'o placă de platină, osmiu sau tungsten, se creează între elec-

trozi un câmp electric foarte puternic. Dacă dăm plăcii o tensiune pozitivă de 10 000—100 000 volți, electronii emiși de filament sunt atrași de placă (anticatod) cu o forță foarte mare, încât ei pot căpăta vitese ce depășesc 100 000 km/s. Acești electroni se comportă ca și razele catodice și, izbind anticatodul, pot produce raze X.

Astăzi pentru producerea razelor X se întrebuințează tuburi de acest fel; cu ajutorul acestor tuburi se pot face studii asupra razelor X, în legătură cu constituția atomului, sau cu structura cristalelor.

Metalografia a ajuns la rezultate foarte importante cu privire la structura diferitelor metale, datorită razelor X, folosite la analiza radiografică a acestor metale.

Cunoașterea fenomenelor termoelectronice a dat posibilitate inventării lămpilor cu trei sau mai mulți electrozi, întrebuințate astăzi în radiocomunicații.

93. Fenomenul fotoelectric

Fenomenul fotoelectric se manifestă prin aceea că un metal emite electroni atunci când este lovit de razele de lumină. Pentru ca fenomenul să se poată produce, este necesar ca să existe în compoziția razelor, raze de o frecvență anumită, specifică pentru diferitele metale. De ex. zincul emite electroni numai dacă este luminat cu radiațiuni ultraviolete; electronii nu pot fi liberați decât după ce vitesa lor depășește o anumită limită, datorită frecvenței radiațiunii necesare pentru liberarea lor. Fenomenul fotoelectric are aplicațiuni practice, atât pentru cercetarea științifică, cât și pentru viața de toate zilele, de ex. celula fotoelectrică.

Celula fotoelectrică este un aparat care transformă energia luminoasă în energie electrică.

Celula fotoelectrică e compusă dintr'un glob de sticlă din care s'a scos aerul și s'a introdus un gaz inert, de ex. argon, la presiune redusă. Pe o parte din interiorul globului este depus un strat subțire K de sodiu, potasiu sau cesiu. In interiorul globului se mai află un inel de sârmă subțire de nichel M, legat prin sârmă de platină E_1 ce trece prin pereții globului, la polul pozitiv al unei baterii de 80—100 de volți. Un alt fir de platină E_2 leagă stratul de metal din interiorul globului cu polul negativ al aceleași baterii. Sub acțiunea radiațiunilor lu-

minoase ce pătrund în globul de sticlă, metalul K emite electroni și fiindcă între acest metal și inelul M există un câmp electric puternic, electronii emiși de metal vor fi atrași de inel (încărcat pozitiv), stabilind deci în glob (celulă), un curent de electroni dela metalul K, la inelul M. Intensitatea acestui curent depinde de intensitatea luminii, deci curentul poate urmări variațiile de intensitate ale luminii primite de celula fotoelectrică.

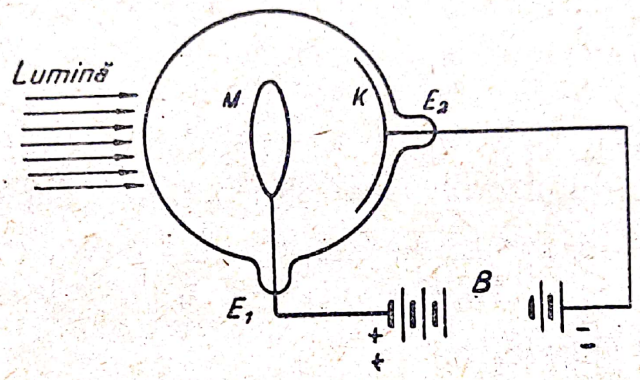


Fig. 138. Celulă fotoelectrică

Aceste celule, cu mici modificări, sunt întrebuințate la cinematograful sonor, la televiziune, în dispozitive de semnalizare și de alarmă, în orientarea vapoarelor și a altor vehicule când ochiul omenesc nu vede nimic. Astfel radiațiile infraroșii, date de către un far maritim, pătrund prin ceață, și pot ajunge la o celulă fotoelectrică instalată pe bord, semnalând astfel apropierea de coastă.

CAP. XI. FENOMENE ELECTROCHIMICE

94. Curentul electric în soluții electrolitice

Când se disolvă NaCl în apă, se constată că o parte din molecule se desfac (disociază) în elementele Na și Cl. Atomul de clor ia un electron dela atomul sodiului, căpătând însușiri electrice negative (ion negativ); atomul de sodiu are un electron în minus, deci are însușiri electrice pozitive (ion pozitiv). Ecuația transformării este:

$$NaCl \rightarrow \overset{+}{Na} + \overset{-}{Cl};$$

La fel se petrec lucrurile și când se disolvă sulfatul de cupru:

$$CuSO_4 \rightarrow \overset{++}{Cu} + \overset{--}{SO_4}$$

Cu, care e bivalent, rămâne cu două sarcini pozitive, iar SO_4 cu două sarcini negative.

In cazul disolvării nitratului de argint avem:

$$AgNO_3 \rightarrow \overset{+}{Ag} + \overset{-}{NO_3}$$

In cazul acizilor:

a) Acidul sulfuric disolvat se disociază după ecuația:

$$H_2SO_4 \rightarrow \overset{++}{2H} + \overset{--}{SO_4}$$

b) Acidul clorhidric:

$$Hcl \rightarrow \overset{+}{H} + \overset{-}{cl}$$

In cazul bazelor se pune în libertate oxidrilul:

$$NaOH \rightarrow \overset{+}{Na} + \overset{-}{OH}$$

Soluțiile în care se găsesc molecule disociate în ioni pozitivi și ioni negativi se numesc *soluții electrolitice*. Ele sunt bune conducătoare de electricitate.

Numim *grad de disociere* raportul dintre numărul moleculelor disociate și numărul total de molecule disolvate.

De ex. grad de disociere de $15^0/_0$ înseamnă că din 100 de molecule puse în soluție, 15 s'au disociat, iar 85 au rămas întregi în soluție.

Gradul de disociere este constant, dacă temperatura și gradul de concetrație al soluției sunt constante. Dacă temperatura crește, alte molecule din cele disolvate se disociază, deci gradul de disociere se schimbă (crește). Dacă temperatura scade, fenomenul este invers.

O soluție cu un grad de concentrație mai mic are un grad de disociere mai mare, iar cea cu un grad de concentrare mai mare are un grad de disociere mai mic.

Scanned with OKEN Scanner

Rezultă că gradul de disociere variază cu temperatura și cu gradul de concentrație al soluției, direct proporțional cu temperatura și invers proporțional cu gradul de concentrație.

Ionii de hidrogen și de metale sunt pozitivi, iar ionii de oxigen și de metaloide sunt negativi. Deci ionii de hidrogen și de metale vor fi atrași de electrodul negativ al unei surse de energie electrică, iar oxigenul și metaloidele vor fi atrase de electrodul pozitiv.

Dacă în soluție se așază două plăci bune conducătoare de electricitate, puse în legătură cu bornele unei baterii de acumulatoare, rezultă că electrozii capătă însușiri electrice, unul pozitiv și celălalt negativ. Cum în soluție se găsesc ioni pozitivi și ioni negativi, primii vor fi atrași de electrodul negativ, și ceilalți de cel pozitiv.

Electrodul pozitiv se mai numește și *anod*, iar cel negativ *catod*.

Cum se explică trecerea curentului electric printr'o soluție electrolitică?

Ionii, fie pozitivi, fie negativi, sunt liberi de a se mișca. Datorită câmpului electric creat între cei doi electrozi, ei se vor deplasa spre catod, respectiv spre anod. Ionii care vin în contact cu catodul (ionii pozitivi) își completează lipsa de electroni și rămân în stare neutră pe catod. Cei care vin în contact cu electrodul pozitiv (ionii negativi), cedează acestuia plusul de electroni.

Numărul electronilor luați de ionii pozitivi dela electrodul negativ este egal cu numărul electronilor dați electrodului pozitiv de ionii negativi.

Rezultă o deplasare a ionilor pozitivi și negativi în sensuri opuse. Prin aceasta se creează un curent electric, care circulă prin soluție și prin electrozii metalici.

Deci, pe când în metale curentul electric corespunde la deplasarea electronilor liberi, în soluții curentul electric corespunde la deplasarea ionilor pozitivi și negativi.

95. Electroliza

Dacă legăm cei doi electrozi introduși în soluție de nitrat de argint, primul de cupru și celălalt de argint, cu cele două borne — și + ale unei surse de curent continuu, ionii pozitivi (Ag), vor fi atrași de electrodul negativ (Cu), iau electronii

necesari și rămân lipiți de electrodul negativ (deci de cupru). Astfel se obține argintarea unui metal oarecare, cu ajutorul curentului electric. Radiatorul NO_3 formează ionul negativ. Acesta va fi atras de electrodul pozitiv, care este de argint, îi cedează plusul de electroni, pentru a deveni neutru: el se combină cu electrodul pozitiv (argintul), dând nitrat de argint, care rămâne în soluție. Gradul de concentrație al soluției nu se schimbă, fiindcă pe de o parte electrodul pozitiv pierde argint, iar cel negativ a primit aceeași cantitate de argint luată dela electrodul pozitiv. Practic se verifică acest fenomen cântărind greutatea electrodului + și a celui —, după un timp de circulație a curentului; se constată că greutatea pierdută de electrodul pozitiv este egală cu cantitatea cu care s'a mărit greutatea electrodului negativ.

Ca aplicație industrială a acestui fenomen avem *galvanotehnica (galvanoplastia* și *galvanostegia)*. Lichidele, care în general sunt izolante (apa distilată, alcoolul, eterul), devin bune conducătoare de electricitate când disolvăm în ele săruri metalice, oxizi sau baze (soluții electrolitice).

Curentul electric care le străbate, produce reacțiuni chimice și transport de materie în interiorul soluțiilor.

Această acțiune chimică produsă cu ajutorul curentului electric se numește *electroliză* (de ex. electroliza apei).

Electroliza apei se face în *voltmetru.* Electrolitul este format de apă și acid sulfuric iar electrozii sunt de platină. Ei se acoperă cu câte o eprubetă plină de apă. Se constată la electrodul pozitiv existența oxigenului și la cel negativ existența hidrogenului.

96. Legile electrolizei

Legea I. Cantitatea de substanță descompusă într'un electrolit și depusă pe electrozi într'un timp dat este proporțională cu cantitatea de electricitate care traversează electrolitul în acel timp

$$G = K \times I \times t$$

în care:

G = cantitatea de substanță în mg,
K = echivalentul electrochimic,
I = intensitatea curentului în amperi,
t = timpul cât circulă curentul în secunde.

Scanned with OKEN Scanner

Echivalentul electrochimic al unui metal este greutatea acelui metal care este pusă în libertate prin electroliză de o cantitate de electricitate egală cu un coulomb. El se dă în miligrame pe coulomb, sau în grame pe amperi/oră. El se găsește în tabele.

Legea II. Cantitatea de electricitate necesară pentru a pune în libertate greutatea unui corp egală cu echivaleutul ch mic, este egală pentru toate corpurile: ea este egală cu 96 600 coulombi (= 1 faraday).

Echivalentul electrochimic și chimic al câtorva corpuri simple

Corpul simplu	Echivalentul electrochimic mg/coulomb	Echivalentul chimic g/96600 coulomb sau g/1 faraday
1. Aluminiul	0,0938	8,99
2. Argintul	1,1183	107,88
3. Aurul	0,6827	65,70
4. Cadmiul	0,5814	56,20
5. Clorul	0,3675	35,50
6. Cuprul	0,3294	31,78
	0,65,88	63,57
7. Fierul	0,1931	18,61
	0,2895	27,92
8. Hidrogenul	0,01045	1,008
9. Magneziul	0,1260	12,16
10. Mercurul	1,0393	100,30
11. Nichelul	0,3041	29,34
12. Oxigenul	0,829	8,00
13. Platina	0,5078	48,80
14. Plumbul	1,0744	103,60
15. Potasiul	0,4084	39,10
16. Sodiul	0,2384	23,00
17. Zincul	0,3387	32,685

Din tabelă și legea II-a putem deduce că:

Pentru a pune în libertate 107,88 g de argint 31,78 g de cupru, 29,74 g de nichel, 65,70 g de aur va trebui o cantitate de electricitate de 96 600 de coulombi; pentru a depune aceste cantități în timp de 1 oră (3600 secunde) vor trebui:

$$\frac{96\,600}{3600} = 26 \text{ amperi.}$$

Exerciţii

In două băi, una de cupru şi alta de argint, prin care circulă aceeaşi intensitate de curent, s'au depus în baia de cupru 0,10 grame. Cât s'a depus în baia de argint?

Echivalentul chimic al argintului fiind 107,88 g iar al cuprului 31,78 g, rezultă că aceeaşi cantitate de electricitate care la depus 0,10 g cupru, ar fi putut depune în argint o cantitate de

$$0{,}10 \times \frac{107{,}88}{31{,}78} = 0{,}34 \text{ g argint.}$$

Tot acelaşi rezultat avem dacă considerăm echivalentul electrochimic 0,10 g = 100 mg

$$100 \times \frac{1{,}1183}{0{,}3294} = 340 \text{ mg} = 0{,}34 \text{ g argint.}$$

Intensitatea curentului în baia pentru electroliză

Soluţiile electrolitice opun curentului electric o rezistenţă care este mult mai mare decât a metalelor, deoarece curentul în electrolit se realizează prin deplasarea ionilor pozitivi şi negativi, în sensuri opuse, pe când în metale avem numai deplasarea electronilor liberi. Această rezistenţă *(r)* provoacă între cei doi electrozi o cădere de tensiune.

Dacă *U* este tensiunea aplicată celor doi electrozi valoarea curentului se află cu relaţia:

$$I = \frac{U - I\,r}{R}$$

Pierderea de putere I^2r din electrolit se transformă în căldură (soluţiile electrolitice se încălzesc ca şi conductorii metalici).

Polarizarea soluţiilor electrolitice

In timpul electrolizei se formează în electrolit o tensiune *e* contrară celei aplicate la borne. Acest fenomen se numeşte polarizare.

Verificare experimentală. Luăm un electrolit format din acid sulfuric diluat cu electrozii de platină, legaţi la bornele

unei baterii de acumulatoare (*fig. 139*). In circuit legăm în serie un galvanometru și un voltmetru la bornele electrozilor. Se va degaja la electrodul negativ hidrogen, iar la cel pozitiv oxigen.

După un timp de funcționare, scoatem bateria din circuit. Voltmetrul va arăta o tensiune între electrozi, dacă și am scos bateria. Dacă închidem circuitul (*fig. 140*), galvanometrul arată trecerea unui curent de scurtă durată având un sens invers celui debitat de baterie când era în circuit.

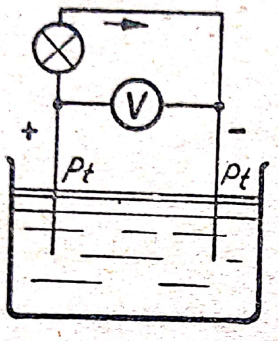


Fig. 139. Polarizarea soluției de acid sulfuric

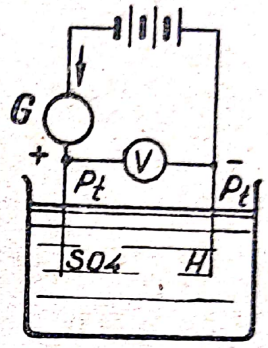


Fig. 140. Polarizarea soluțiilor electrolitice

Deci, în timpul electrolizei s'a creat în electrolit o tensiune *e* contrară celei aplicate, o forță contraelectromotoare, datorită fenomenului de polarizare. Mecanismul producerii acestui fenomen este următorul:

Primii atomi de hidrogen care se neutralizează în dreptul electrodului negativ, se așază împrejurul lui, acoperindu-l cu un strat subțire de hidrogen. Acest strat de hidrogen împreună cu platina, formează o mică pilă, a cărei tensiune este contrară celei aplicate și ca urmare ionii de hidrogen ce continuă să vină spre electrod sunt respinși. Același fenomen de polarizare se produce și la celălalt electrod.

Tensiunea bateriei trebue să fie egală cu forța contraelectromotoare *e* plus căderea de tensiune, adică:

$$U = e + u = e + I r.$$

97. Aplicațiile electrolizei

Electroliza are numeroare aplicații industriale în metalurgie, galvanoplastie și galvanostegie.

Cea mai importantă aplicație a electrolizei este în *metalurgie.* Producerea cuprului electrolitic curat (întrebuințat

pentru fabricarea conductorilor electrici), se face prin electroliza sulfatului de cupru amestecat cu acid sulfuric.

Ca electrod pozitiv (anod) se foloseşte un bloc de aramă brută; catodul este o tablă subţire de cupru curat.

Sub acţiunea curentului, cuprul se depune pe catod, SO_4 se combină cu cuprul anodului şi astfel cuprul brut este disolvat treptat şi depus sub formă de cupru electrolitic curat.

Extragerea următoarelor metale se face pe cale electrolitică: aluminiul, platina, argintul, zincul, etc.

In general, în metalurgie, electroliza se întrebuinţează pentru rafinarea metalelor. Prin acest procedeu metalul se obţine în stare chimică curată (pură), de ex. cuprul electrolitic.

Pentru electroliză sunt necesare tensiuni de câţiva volţi; intensitatea curentului este însă foarte mare: dela câteva sute poate ajunge la 20 000 amperi.

Densitatea curentului nu trebue să fie prea mare; de aceea se fac electrozi cu suprafeţe mari şi cât mai apropiaţi unul de altul, pentru ca electrolitul să prezinte curentului o rezistenţă mică.

Prin electroliză se prepară: soda caustică, clorаţii, cloroformul, iodoformul etc.

Fabricarea foilor foarte subţiri de metale, tuburi capilare etc. se face tot prin electroliză, apoi fabricarea îngrăşămintelor chimice pentru agricultură, fotogravuri, etc.

Galvanoplastia este operaţiunea prin care obţinem medalii, gravuri, statui mici, etc., cu ajutorul electrolizei.

Operaţiunea constă în a face mai întâi copii negative după original cu o materie plastică: gutapercă, ceară, stearină, etc. sau gips, făcute bune conducătoare de electricitate prin spoirea lor cu o soluţie de grafit în alcool (alcoolul se evaporă şi rămâne stratul fin de grafit). Aceasta constitue „forma“ care se aşează în baia electrolitică ca electrod negativ. Prin electroliză lăsăm să se depună pe „formă“ metalul ce am ales, de obiceiu cupru sau nichel într'un strat destul de gros ca piesa să fie rigidă când o separăm de „formă“ sau de tiparul său, căpătăm astfel copii exacte ale obiectului respectiv.

Galvanizarea sau *galvanostegia* este partea din industria electrochimică care se ocupă cu depunerea unui strat sau depozit subţire aderent de metal mai preţios, sau expus alterării prin agenţii atmosferici. Astfel cuprul, arama, fierul, se acoperă cu alte metale mai preţioase sau mai inalterabile ca aur, argint, nichel, crom, zinc, cadmiu etc.

Scanned with OKEN Scanner

Electrodul pozitiv este o bucată din metalul cu care vrem să facem acoperirea, iar electrodul negativ este obiectul de metal ce vrem să-l acoperim pentru frumusețe sau pentru protecție.

Explicații. In electrolit, ionul metalic este pozitiv; el se depozitează pe electrodul negativ și în acest mod se acopere obiectul ce formează electrodul negativ cu un strat din acest metal. Grosimea stratului de metal depinde de timpul cât a durat trecerea curentului.

Radicalul din sare, formează ioni negativi, adică are sarcini electrice negative. El se duce la electrodul pozitiv unde atacă metalul ce formează acest electrod, se combină cu el din nou, formând sarea metalului ce se disolvă în soluție.

Exerciții

1. Suprafața unui obiect de nichelat este de 3 dm^2; stratul de nichel trebue să aibă o grosime de 0,15 mm. Ce intensitate de curent este necesară și în cât timp se face această nichelare, știind că densitatea curentului = 0,5 A/dm^2.

Rezolvare:

Legea electrolizei ne dă:

$G = K\ I\ t$,

K = echivalentul electrochimic al nichelului = 0.3041 mg/coulumb,

I = 0,5 $A/dm^2 \times 3\ dm^2 = 1{,}5$ A,

G = greutatea metalului ce trebue depus prin electroliză, în miligrame,

G = Volumul $\times$ greutatea specifică = 300 $cm^2 \times 0{,}015$ cm $\times$ $g/cm^3 = 4{,}5 \times 9 = 40{,}5$ g = 40 500 mg,

$$t = \frac{G}{K \times I} = \frac{40\,500}{0{,}3041 \times 1{,}5} = 88\,787 \text{ secunde},$$

$$t = \frac{88\,787}{3600} = 24 \text{ ore } 39 \text{ minute și } 40 \text{ secunde}.$$

2. Ce intensitate de curent este necesară ca să depună 6 grame de cupru în timp de 1 oră și 30 minute ?

Rezolvare:

$$I = \frac{G}{K \times t} = \frac{6000}{0{,}3294 \times 3780} = 4{,}8 \text{ A}.$$

Scanned with OKEN Scanner

3. Ce greutate de argint s'a depus pe un obiect cu o suprafață de 8 dm² dacă el a fost ținut într'o baie de argint timp de 90 minute, sub o densitate de curent de 0,5 A/dm²?

Rezolvare:

Pentru argint $K = 1{,}183$ mg/coulomb

$G = K\ I\ t$

$I = 0{,}5 \times 8 = 4$ A

$G = 1{,}183 \times 4\ \text{A} \times 90' \times 60'' = 25\,552{,}8$ mg

$= 25{,}552$ g argint

98. Elemente galvanice

Așezând într'un electrolit doi electrozi și metale diferite se creează între ele o diferență de potențial, care poate fi utilizată în vederea alimentării unui circuit cu un curent electric.

Elementele galvanice sunt alcătuite dintr'un electrolit, în care sunt doi electrozi din metale diferite; ele reprezintă o sursă de curent electric, și se mai numesc și *pile electrice*.

In cazul unui element simplu, ca acela al lui Volta, polul pozitiv este de cupru și cel negativ de zinc, iar ca electrolit se folosește apă acidulată cu acid sulfuric. Reacțiile chimice care se petrec între acid și metale corespund la schimbări de ioni între atomi. Odată cu aceasta și electronii își schimbă locul: se îngrămădesc în număr mai mare pe zinc și, fiindcă forțele de respingere dintre ei devin foarte mari, caută să fugă pe firul de legătură spre cupru, unde este lipsă de electroni, datorită aceleeași reacții chimice.

Electronii nu se duc în tot lungul firului, ci împing pe cei dinaintea lor, aceștia pe alții, și astfel împingerea pornită dela zinc este aceea care se propagă foarte repede prin fir. Dacă circuitul este întrerupt într'un punct, electronii nu pot să treacă ci se înghesuesc acolo, creând o stare de tensiune.

Electronii în mișcare merg în lungul firului dela zinc la cupru, deci sensul mișcării lor este invers curentului considerat, dela + la —. Fenomenele electrice nu sunt schimbate datorită acestui sens ales în mod arbitrar, înainte de a se cunoaște structura atomilor.

Pila electrică se reprezintă într'o schemă electrică prin semnul din *fig. 141*.

Locul unde se face legătura la electrozi se numește *polul*

Scanned with OKEN Scanner

pilei sau *borna* ei. Intre cei doi poli ai pilei, ia naştere o forţă electromotoare, care se poate măsura cu un voltmetru.

Intre forţa electromotoare şi tensiunea la borne a unei pile este o deosebire, fiindcă în electrolit curentul electric rezultă din deplasarea ionilor negativi şi pozitivi în sensuri opuse, către poli, spre deosebire de cazul curentului electrlc în conductori metalici, unde atomii rămân pe loc, şi se deplasează numai electronii liberi.

Fig. 141. Semnul unei pile electrice

Ionii, în mişcarea prin electrolit, întâmpină o anumită rezistenţă. Rezultă deci că o pilă electrică are o rezistenţă r şi în ea un curent I produce o cădere de tensiune $r\,I$.

Un voltmetru montat la bornele pilei, când ea nu debitează curent, indică o valoare E, iar când pila debitează curent, o altă valoare U, totdeauna mai mică decât E.

E se numeşte *forţa electromotoare produsă de pilă,* iar U, *tensiunea la bornele pilei.* Legătura între E şi U este:

$$U = E - r\,I \text{ sau } E = U + r\,I$$

Electrozii pilelor electrice

Dacă ambii electrozi ar fi din acelaşi material, f. e. m. ar fi nulă la borne. Materialele din care se fac electrozii sunt: peroxidul de plumb, bioxidul de mangan, platina, cărbunele, aurul, argintul, cuprul, fierul, mercurul, plumbul, cositorul, zincul, aluminiul, magneziul. Oricare element din această serie poate forma electrodul pozitiv, dar numai unul din următorii poate fi electrod negativ. Cu cât cei doi electrozi vor fi mai îndepărtaţi în ordinea de mai sus, cu atât f. e. m. va fi mai mare.

Intru cât zincul, cuprul şi cărbunele sunt materiale ieftine, acestea formează materialele din care se fac electrozii.

In generali electrozii pozitivi se fac din cupru, cărbune, fier sau mercur. Ei nu sunt atacaţi de electrolit. Electrodul

Scanned with OKEN Scanner

negativ este atacat de electrolit în timpul cât pila nu debitează curent. Zincul, care formează electrodul negativ, se amalgamează, adică se acopere de un strat de mercur, care-l protejează.

Amalgamarea se face frecând cu o bucată de stofă sau cu o perie, câteva picături de mercur pe suprafața de amalgamat după ce aceasta fusese bine curățită cu acid sulfuric.

Electrolitul poate fi: apă acidulată cu acid sulfuric sau clorhidric, soluție de sare amoniacală, de clorură de sodiu sau potasiu, etc.

Polarizarea unei pile electrice

In timpul funcționării pilei, se desvoltă hidrogen în jurul polului negativ sub formă de băşicuțe și sulfat de zinc, care se disolvă în electrolit. Hidrogenul depus izolează electrodul de electrolit, mărind rezistența interioară a pilei și formând împreună cu zincul o altă pilă ce va avea o f. e. m. de sens contrar pilei respective (experimental se poate verifica cu ajutorul unui voltmetru și ampermetru că tensiunea la borne și intensitatea curentului scade, ajungând chiar la zero).

In acest caz se spune că pila s'a *polarizat*.

Fie: E = f. e. m. inițială a pilei (înainte de polarizare),
E_1 = f. e. m. de polarizare,
R = rezistența exterioară,
r = rezistența interioară inițială a pilei,
r' = „ „ a pilei când s'a polarizat.

Curentul debitat de pilă când nu este polarizată este:

$$I = \frac{E}{R+r}$$

Curentul debitat de pilă când e polarizată este:

$$I' = \frac{E - E'}{R + r'}$$

Dacă $E = E'$ atunci $I' = O$

Puterea unei pile este:

$$P = U\,I = (E - rI)\,I$$

Scanned with OKEN Scanner

Depolarizarea

Dacă aşezăm în jurul electrodului pozitiv o substanţă oxidantă, ce se combină cu hidrogenul dând apă, vom putea elibera acest electrod de hidrogen, deci înlătura polarizarea.

Substanţa întrebuinţată se numeşte depolarizant. Ea poate fi: bioxid de mangan, sulfat de cupru, acid azotic, etc.; dacă este solidă, se aşază într'o pungă formând un săculeţ prin care să treacă uşor electrolitul. Dacă depolarizantul e lichid, se aşază într'un vas poros.

Mărimile caracteristice ale unei pile

Aceste mărimi sunt independente de condiţiunile în care funcţionează pila. Ele sunt:

a) *forţa electromotoare E* care depinde de natura elementelor ce o compun (materialul electrozilor electrolit), şi nu depinde de mărimea pilei. Ea poate varia datorită temperaturii pilei şi gradului de concentraţie al electrolitului,

b) *rezistenţa interioară a pilei* r_i care variază invers proporţional cu dimensiunile pilei şi cu temperatura, şi mai depinde şi de gradul de concentraţie al electrolitului,

c) *regimul de descărcare* este intensitatea curentului maxim ce-l poate da o pilă, fără să se polarizeze, şi depinde de natura şi mărimea pilei,

d) *capacitatea pilei,* adică cantitatea de electricitate pe care o poate da pila până la epuizare. Se dă în Ah şi depinde de natura şi mărimea pilei.

99. Clasificarea pilelor electrice (tipuri industriale de pile electrice)

Pilele electrice se clasifică în:

a) *pile umede* (Daniel, Poggendorf şi Grénet, Léclanché),
b) *pile semiumede,*
c) *pile uscate* (de tipul Léclanché).

a) Pilele umede

Pila Daniel (fig. 142) se compune dintr'un vas de sticlă, un electrod de cupru, care se aşază într'o soluţie de sulfat de cupru şi un electrod de zinc, într'o soluţie de sulfat de zinc.

Scanned with OKEN Scanner

Ca să nu se amestece, cele două lichide sunt separate printr'o diafragmă de pământ ars (poros). Zincul este electrodul negativ, cuprul electrodul pozitiv.

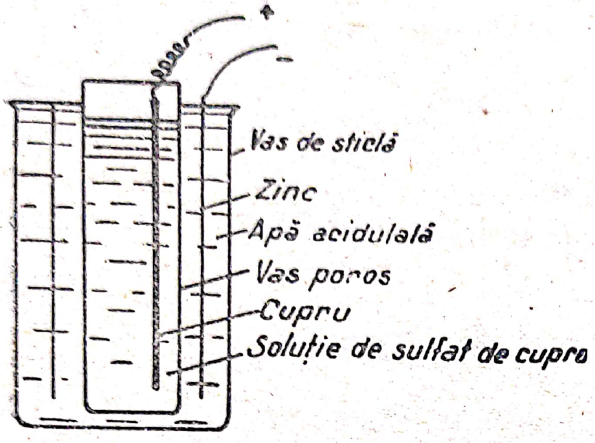


Fig. 142. Pila Daniel

La bornele pilei se poate măsura o forță electromotoare de 1,09 volți.

Rezistența interioară depinde de mărimea elementului, ea variind între 0,2 și 0,8 ohmi.

In vasul de sticlă, împrejurul zincului, se toarnă o soluție de acid sulfuric cu apă ($10^0/_0$ acid sulfuric), care atacă zincul, formând sulfat de zinc și hidrogen:

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2$$

Hidrogenul, întâlnind depolarizantul (sulfatul de cupru), ia locul cuprului și se formează acid sulfuric și cupru în libertate:

$$CuSO_4 + H_2 = H_2SO_4 + Cu$$

Cuprul se depune pe electrodul pozitiv; zincul, fiind în soluție de sulfat de zinc, se disolvă, trecând în soluție sub formă de ion pozitiv. Bara de zinc rămâne încărcată cu un surplus de electroni (polul negativ). Această disolvare se face în timpul cât circulă curentul prin circuitul exterior al pilei, deci pe de o parte bara de zinc se descarcă de electroni (curentul electric), iar pe de altă parte rămân electroni datorită disolvării lui în sulfatul de zinc. Așa se explică faptul că polul negativ rămâne mereu încărcat.

In soluția de sulfat de cupru sunt ioni pozitivi ($\overset{++}{Cu}$) și negativi ($\overline{\overline{SO_4}}$). Pe bara de cupru, prin circuitul exterior sosesc electroni, care atrag ionii pozitivi de $\overset{++}{Cu}$ din soluție, neutralizându-i și care se depun pe polul pozitiv. Rezultă că zincul se consumă, pe când cuprul nu.

Radicalul $\overline{\overline{SO_4}}$, din soluția de $CuSO_4$ fiind liber și încărcat negativ, va fi atras de ionul de zinc și se combină cu el,

dând sulfat de zinc. Deci soluția de sulfat de zinc devine mai concentrată, iar cea de sulfat de cupru mai diluată. Pentru a înlătura posibilitatea încetării de a mai funcționa a pilei, din lipsă de sulfat de cupru, se pun pe lângă polul pozitiv cristale de sulfat de cupru.

Pila Daniel se folosește mai mult în laboratoare, fiindcă are o f. e. m. constantă.

Pila Poggendorf și *Grénet (fig. 143)* este alcătuită dintr'un vas de sticlă în care se găsește: electrolitul format dintr'o soluție de acid sulfuric, depolarizantul format din bicromat de potasiu și electrozii: + cărbune și — zincul.

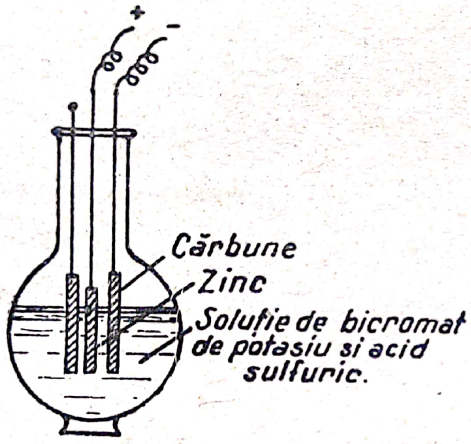


Fig. 143. Pila Poggendorf și Grénet

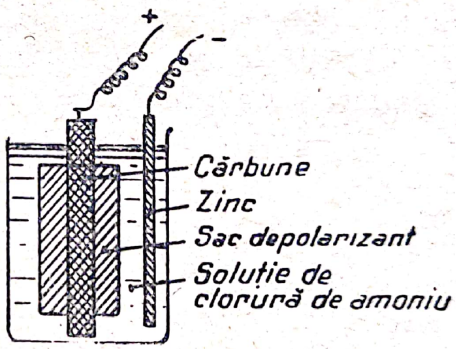


Fig. 144. Pila Léclanché

Forța electromotoare este de 2 volți și se menține constantă. Are o rezistență interioară foarte mică și se întrebuințează la aparatele medicale. In timpul nefuncționării, zincul se poate și trebue să fie scos din electrolit.

Pila Léclanché (fig. 144) este formată dintr'un vas de sticlă în care se află:

Electrolitul (soluție de țipirig = clorură de amoniu disolvată în apă: 4 părți apă + 1 parte țipirig).

Electrodul pozitiv este un baston de cărbune și cel negativ un baston de zinc.

Depolarizantul este un amestec de bioxid de mangan și grafit așezat într'un borcan poros de porțelan, așezat împrejurul electrodului pozitiv, sau este presat și învelit într'o pânză subțire împrejurul bastonului de cărbune; ca depolarizant servește numai bioxidul de mangan; grafitul are rolul de a

permite electrolitului să treacă uşor la electrod şi deci să micşoreze rezistenţa interioară a pilei.

Rezistenţa interioară a pilei variază dela 0,5 la 1,5 ohmi.

Forţa electromotoare = 1,5 volţi.

Această pilă funcţionează bine dacă este întrebuinţată intermitent, adică la durate scurte, de ex. sonerii, telefoane, telegraf, etc.

Funcţionarea pilei Léclanché este următoarea:

Clorura de amoniu se disociază în Cl şi NH. In timpul cât pila debitează curent electric avem:

$$Zn + 2\ NH_4Cl = ZnCl_2 + 2\ NH_3 + H_2$$ adică:

zincul se disolvă în soluţie, se combină cu ionii de clor formând clorura de zinc ($ZnCl_2$); radicalul NH_4 se duce la polul pozitiv unde se desface în NH_3 (amoniu) şi H; bioxidul de mangan împiedecă H să se depună pe cărbune, pentru a da o nouă pilă (polarizarea pilei):

$$H_2 + MnO_2 = Mn_2O_3 + H_2O$$

Depolarizantul se aşază într'un săculeţ de pânză împrejurul cărbunelui.

Când electrolitul s'a consumat, el devine albicios, iar pe cei doi electrozi s'a depus un strat alb (acesta se înlătură frecând cei doi electrozi cu un lemn). Prin evaporarea apei din soluţie, clorura de amoniu se depune sub formă de cristale pe electrozi. Se completează nivelul electrolitului turnând apă distilată sau fiartă şi răcită, până se acopere $^3/_4$ din electrozi, iar restul de $^1/_4$ din vas se dă cu parafină.

b) Pilele semiumede

Sunt pile Léclanché în care clorura de amoniu este sub formă de praf, deci nu este disolvată în apă *(fig. 145)*.

Se compune dintr'o cutie de carton parafinată, electrozii (+ cărbune de retortă în mijlocul cutiei, cutie de zinc). Electrolitul între cutia de zinc şi sacul depolarizant, e format din rumeguş de lemn, amidon, asbest, ghips, amestecate cu clorură de amoniu. Depolarizantul este format din 70% bioxid de mangan + 20% grafit + 10% clorură de amoniu, puse într'un săculeţ de pânză legat în jurul cărbunelui.

Pila are un capac de carton acoperit cu smoală, prin care iese polul pozitiv (borna cu şurub). Cel negativ iese sub formă

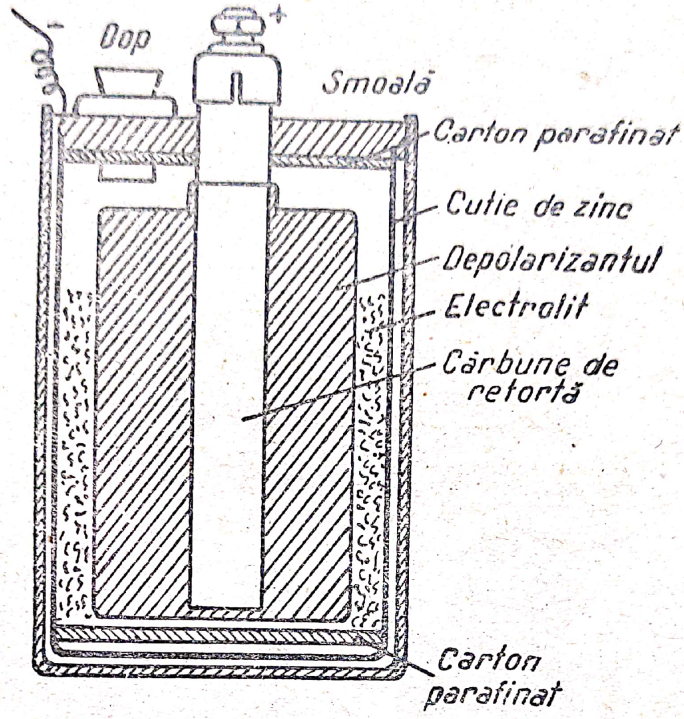


Fig. 145. Pilă semiumedă

de sârmă. F. e. m. de 1,5 volţi scade la 1 volt când începe pila să debiteze curent şi se menţine constantă.

c) Pilele uscate

Pilele umede şi semiumede, având electrolitul lichid, sunt mai greu de transportat. De aceea s'au construit pentru telefoane, telegrafe, lămpi de buzunar, pile uscate în care electrolitul este conţinut în o materie absorbantă ca: rumeguş de lemn, gips, asbest, cretă, celuloză, gelatină, turbă.

In general pilele uscate sunt de tipul Léclanché *(fig. 146)*. Vasul este din zinc, şi ţine locul şi de electrod negativ. F. e. m. este de 1,5 volţi; în comerţ sunt baterii cu câte trei elemente legate în serie, deci care au o f. e. m. de 4,5 V iar pentru baterii anodice de radio o f. e. m. de 60—120 V.

Zincul, fiind în permanenţă atacat, pila se consumă şi fără să debiteze curent.

Scanned with OKEN Scanner

Condiţiunile ce trebue îndeplinite de către o pilă sunt:
a) forţa electromotoare să fie constantă,
b) rezistenţa interioară să fie mică,
c) când circuitul exterior este deschis, pila să nu se consume,

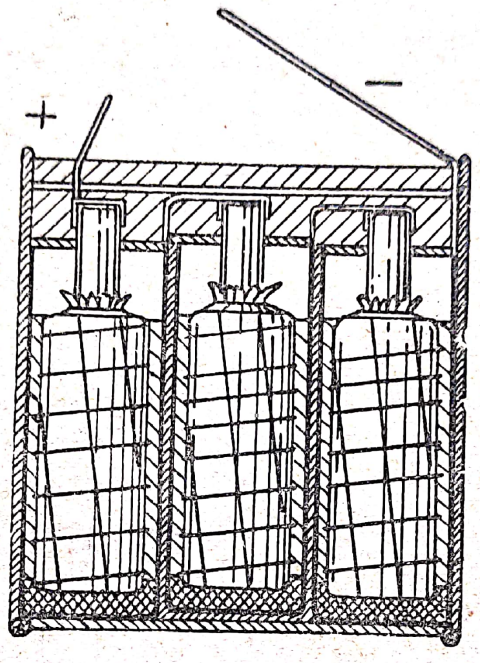


Fig. 146. Pilă uscată

d) să nu degajeze gaze vătămătoare,
e) să fie ieftină, simplă şi uşor de întrebuinţat.

Cauzele care produc defectele unei pile:

a) legături slabe, oxidate sau rupte,
b) depuneri de săruri pe electrozi,
c) s'a consumat electrolitul,
d) s'a consumat depolarizantul.

100. Acumulatoarele

Acumulatoarele sunt nişte aparate care înmagazinează energie electrică, primită dela un generator, (pile, dinam), pentru a o reda când este nevoie. Inmagazinarea energiei electrice se face sub formă de energie chimică.

Astăzi se întrebuinţează două feluri de acumulatoare:

a) cu plumb (acizi),

b) cu cadmiu și nichel (alcalini).

Principiul de funcționare al acumulatoarelor cu plumb este următorul:

Știm că fenomenul polarizării se produce atunci când trece un curent electric printr'o soluție de H_2SO_4 în care se găsesc doi electrozi de platină. In loc de electrozii de platină să punem doi electrozi de plumb *(fig. 147)*.

Dacă legăm electrozii între ei, după ce am scos sursa de energie din circuit, galvanometrul va arăta trecerea unui curent de sens contrar celui de mai înainte *(fig. 148)*.

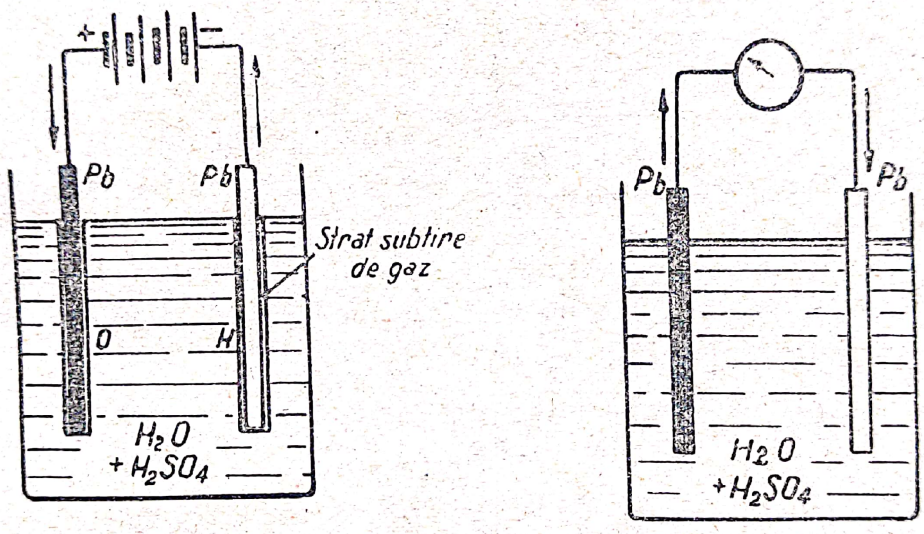


Fig. 147 și Fig. 148. Principiul de funcționare al acumulatorului cu plumb.

Prin fenomenul polarizării se produce o acumulare de energie chimică, consumându-se energie electrică. Energia chimică acumulată, se transformă apoi din nou în energie electrică.

Funcționarea acumulatoarelor se bazează tocmai pe fenomenul polarizării. Pentru a avea o acumulare mai mare de energie chimică, se întrebuințează plăcile de plumb.

Aceasta se realizează cu elementul format din cele două plăci de plumb introduse într'o soluție de acid sulfuric diluat. Plăcile se vor acoperi, cu un strat subțire de sulfat de plumb ($PbSO_4$). H_2SO_4 în soluție se va disocia în $\overset{++}{H_2}$ (ioni pozitivi) și $\overline{\overline{SO_4}}$ (ioni negativi).

Dacă facem să circule un curent electric prin electrolit,

Scanned with OKEN Scanner

ionii negativi se vor duce la electrodul pozitiv, iar cei pozitivi la electrodul negativ *(fig. 149)*.

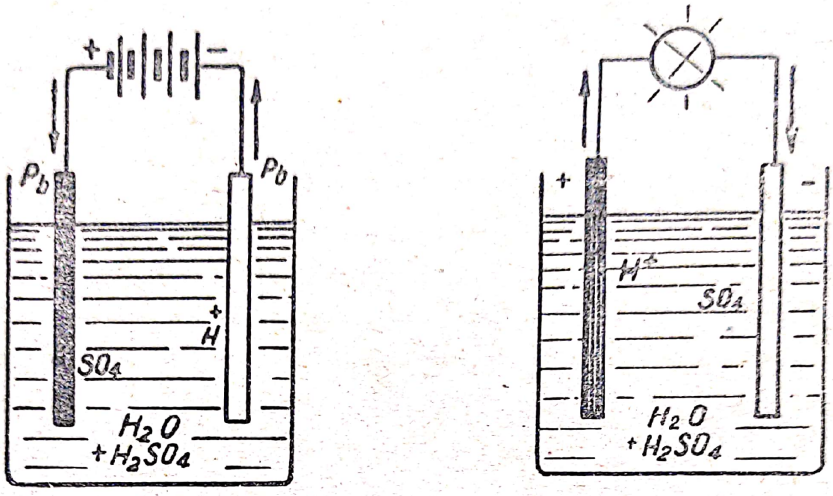


Fig. 149 şi Fig. 150. Funcţionarea acumulatorului cu plumb

Ionii negativi $\overline{\overline{SO_4}}$ în contact cu polul pozitiv se neutralizează, atacă placa de plumb şi produc bioxid de plumb şi acid sulfuric, după reacţia:

$$PbSO_4 + \overline{\overline{SO_4}} + 2\,H_2O = PbO_2 + 2\,H_2SO_4$$

Ionii pozitivi de $\overset{+}{H}$, ajungând pe electrodul negativ se neutralizează, atacă sulfatul de plumb de pe placă, dând H_2SO_4 iar placa rămâne cu plumbul curat.

$$PbSO_4 + H_2 = Pb + H_2SO_4$$

Dacă curentul circulă mai mult timp, electrodul pozitiv este acoperit cu un strat de bioxid de plumb, iar cel negativ este din plumb poros.

Procesul acesta se mai numeşte *încărcarea acumulatorului.* Dacă scoatem sursa de energie electrică din circuit, şi în locul ei punem un bec electric *(fig. 150)* observăm că la închiderea circuitului electric exterior, becul se aprinde, deci trece un curent datorită fenomenului de transformare al energiei chimice înmagazinată în energie electrică (la descărcare).

La *descărcare* reacţiunile chimice sunt inverse, curentul debitat este de sens invers, deci hidrogenul se duce pe placa

pozitivă; el neutralizează electronii sosiți acolo și împreună cu H_2SO_4, atacă oxidul de plumb, dând sulfat de plumb și apă, adică:

$$PbO_2 + H_2SO_4 + H_2 = PbSO_4 + 2H_2O$$

Radicalul SO_4 se duce spre placa negativă, cedează electronii și atacă placa de plumb, adică:

$$Pb + SO_4 = PbSO_4;$$

Rezultă:

In timpul încărcării acumulatorului plăcile de plumb sufer modificări și se produce și acid sulfuric, deci gradul de concentare al soluției crește. In timpul descărcării, se produce apă, deci concentrarea scade.

Este necesar să se facă controlul gradului de concentrare al soluției (electrolitului) cu un densimetru care, când arată densitate mare, adică soluție concentrată, înseamnă că acumulatorul este încărcat; când arată densitate mică, adică soluție diluată, înseamnă că acumulatorul este descărcat. Fiecare tip de acumulator are o densitate maximă și minimă a electrolitului. Forța electromotoare a unui element de acumulator încărcat este de 2,02 volți; când plăcile au ajuns la starea inițială, adică ambele cu oxid de plumb, curentul nu mai circulă, iar descărcarea acumulatorului este terminată.

Formarea plăcilor, adică operațiunea la care supunem a-ucmulatorul cu scopul de a-i mări capacitatea, se poate face în două moduri:

a) Formarea naturală,

b) Formarea artificială.

Formarea naturală se obține prin încărcări și descărcări succesive; se îngroașe astfel stratul de substanță activă ce se depune pe plăci (este o operațiune care durează mult timp).

Formarea artificială constă în fixarea de materie activă pe plăci de plumb antimonios, în formă de grătar.

Pe plăcile negative se fixează o pastă formată din litargă (oxid de plumb, PbO_3) de coloare roșiatică.

Pe plăcile pozitive se fixează o pastă formată din miniu de plumb (Pb_3O_4), amestecat cu substanțe inactive, spre a-i da o anumită elasticitate și porozitate. In timpul descărcării, pastă

se dilată şi se contractă; dacă n'ar fi elastică, ar crăpa şi ar cădea de pe scheletul plăcii.

Scheletele de plumb au multe găuri sau compartimente umplute cu pastă activă şi, pentru ca această pastă activă să nu cadă, se pune pe suprafaţa plăcilor o tablă subţire de plumb găurită.

Se urmăreşte să se reducă la minimum plumbul care formează grătarul, pentru a se avea cât mai multă pastă; forma grătarului este astfel încât să susţină cât mai bine pasta în timpul încărcării şi descărcării.

Pentru a se mări suprafaţa plăcilor, se leagă mai multe între ele printr'o punte, formând astfel polul respectiv.

Plăcile pozitive alternează cu cele negative şi fiindcă placa pozitivă este mai sensibilă, ea se aşază totdeauna între două plăci negative.

Construcţia acumulatoarelor

Acumulatorul este alcătuit din următoarele părţi:

1. Bacul adică vasul în care se introduc elementele de acumulator; se face dintr'un material inatacabil de către acizi,

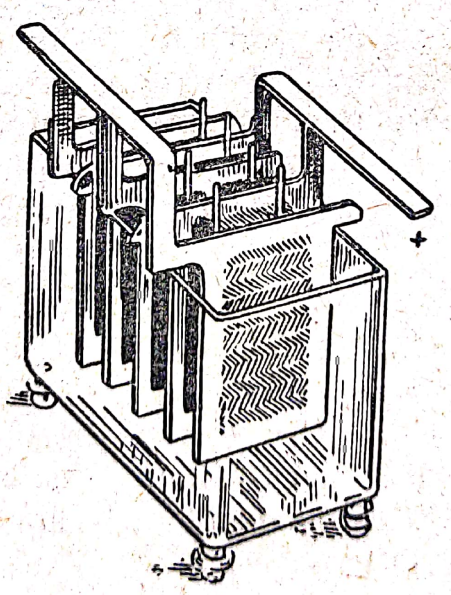


Fig. 151. Bacul şi plăcile unui acumulator cu plumb.

precum: ebonită, sticlă, celuloid, lemn căptuşit cu foi de plumb sudate, etc. *(fig. 151).*

Scanned with OKEN Scanner

2. *Plăcile (fig. 152 și 153)* așezate alternativ, se leagă printr'o punte sudată la partea superioară. Plăcile pozitive se leagă separat, și cele negative la fel. Plăcile nu ating fundul, pentru a se evita scurt-circuitele în cazul că ar cădea de pe ele

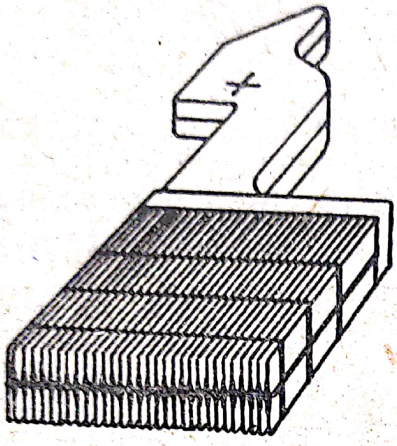


Fig. 152. Plăcile acumulatorului cu plumb

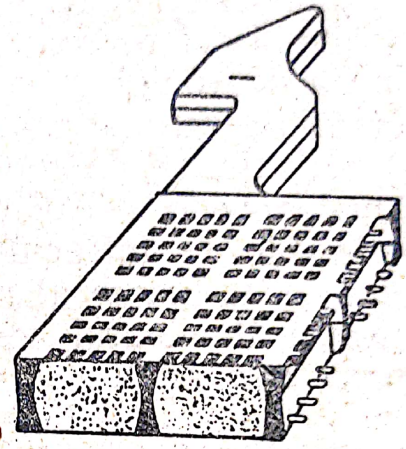


Fig. 153. Placă cu acumulator cu plumb

substanța activă. Ele sunt separate una de alta prin separatoare, ce pot fi plăci de lemn tratat special, bastoane de sticlă sau de ebonită ondulată și perforată, etc.

3. *Electrolitul* este format dintr'un amestec de apă acidulată (acid sulfuric 25% și apă distilată 75%, în greutate).

Se va turna totdeauna acidul în apă, puțin câte puțin (nu se va turna invers). Densitatea electrolitului este 1,18, care corespunde la 22° Baumé la 15° C.

Densitatea electrolitului variază: de exemplu la încărcare crește până la 34° Bé, iar la descărcare scade până la 15°—16° Bé. Pentru o capacitate de 1 amperoră, la acumulatoarele staționare (pentru instalațiunile mici de iluminat, ca rezervă etc.), deci acumulatoarele ce nu se transportă, cu o concentrație maximă de 24—30° Bé, volumul electrolitului trebue să aibă 40—100 cm^3; pentru cei transportabili, cu o concentrație maximă de 28—32° Bé, trebue să fie de 12—15 cm^3, la aceeași capacitate de 1 amperoră.

După felul întrebuințării se construesc două feluri de acumulatoare: stabile și transportabile.

Cele stabile trebue să fie durabile. Placa pozitivă este masivă, cu suprafața mare (100 kg pentru fiecare kWh acumulat),

Scanned with OKEN Scanner

iar cea negativă este cu pastă activă (35 kg pentru fiecare kWh acumulat). Electrolitul trebue să aibă densitatea de 1,18—1,23° Bé. Nivelul trebue să ajungă la plăci şi să le depăşească cu 1,5 cm deasupra părţii lor active.

Bateria se va aşeza într'o încăpere aerisită, pentru eliminarea gazelor formate, ferită de lumină, astfel ca să nu cadă razele solare direct pe baterie. Bine întreţinute, bateriile stabile au o durată de 10 ani.

Acumulatoarele transportabile au plăcile cu pastă activă; ele sunt mai uşoare ca cele stabile de aceeaşi capacitate, se uzează mai repede decât ele, astfel că după 3-4 ani se scot din funcţie. Ele se întrebuinţează la alimentarea cu curent a sistemului de aprindere al motoarelor cu explozie (auto, avioane), pentru iluminatul vehiculelor (auto, avioane, vehicule de tramvai, tren etc.).

101. Incărcarea, descărcarea şi funcţionarea acumulatoarelor

Incărcarea acumulatoarelor

F. e. m. a unui acumulator depinde de gradul de concentrare al electrolitului.

Pentru acumulatoarele de plumb, electrolitul are 22—26° Bé (1,15—1,25 greutate specifică); dacă concentraţia este mai mare, se depun pe plăci cristale de sulfat de plumb care împiedecă transformările chimice.

Intru cât soluţia electrolitului nu-şi păstrează concentraţia în timpul încărcării şi descărcării, nici tensiunea nu este constantă. Pentru încărcarea unui acumulator se leagă borna lui pozitivă la borna pozitivă a dinamului, iar cea negativă la borna negativă a dinamului.

Tensiunea f. e. m. a dinamului *(U)* trebue să facă echilibrul:

a) f. e. m. a acumulatorului *E*, care la încărcare este în creştere şi are sensul contrar celei de încărcare, şi

b) căderii de tensiune datorită rezistenţei interioare *(rI)*; deci:

$$U = E + rI$$

In circuit se mai leagă în serie:

— un ampermetru, care ne dă intensitatea curentului de încărcare,

Scanned with OKEN Scanner

— un reostat, cu care se reglează curentul de încărcare,
— un întrerupător automat, care întrerupe circuitul când întâmplător generatorul ar avea o f. e m. mai mică decât acumulatorul încărcat; altfel curentul ar circula invers şi acumulatorul s'ar descărca.

Curentul de încărcare este dat de constructor; cu cât este mai mic, cu atât viaţa acumulatorului este mai lungă.

Capacitatea acumulatorului se dă în amperiore, iar curentul maxim de încărcare se socoteşte cel necesar pentru a face încărcarea completă în timp de 10 ore. De exemplu dacă acumulatorul are o capacitate de 100 Ah, curentul de încărcare va fi de $\frac{100}{10} = 10$ amperi. Se reglează reostatul, astfel ca ampermetrul să arate un curent de 10 amperi.

Curentul de încărcare are expresia:

$$I = \frac{U - E}{r}.$$

Pe măsură ce se încarcă acumulatorul, E creşte, deci curentul I de încărcare va scădea şi, pentru a-l menţine la valoarea lui (10 A), trebue să micşorăm pe r, adică să mai scoatem din circuit rezistenţe ale reostatului, sau să mărim pe U.

Forţa electromotoare E trebue să fie mai mică în timpul încărcării decât tensiunea aplicată (U); dacă trasăm curba lui U, adică a tensiunii aplicate în timpul încărcării, se observă că tensiunea creşte încet până la 2,4 volţi pentru fiecare element când acumulatorul este aproape încărcat; creşte apoi repede până la 2,7—2,8 volţi şi apoi rămâne constantă. Când se apropie sfârşitul încărcării, materialul care ia parte la reacţiunile chimice devine din ce în ce mai puţin. La plăci se vor desvolta mai mult gaze (oxigen şi hidrogen). Hidrogenul polarizează placa negativă, deci forţa contraelectromotoare a acumulatorului creşte. Când tensiunea a ajuns la 2,8 V, acumulatorul nu se mai încarcă, ci descompune apa în hidrogen şi oxigen, gaze care prin desvoltarea lor dau impresia că acumulatorul fierbe (apar băşici). Când au început să apară aceste băşici, se opreşte curentul dat de dinam, încetează formarea gazelor, deci şi polarizarea plăcilor. Dacă măsurăm tensiunea după un timp, vom vedea că este de 2,4 volţi.

Scanned with OKEN Scanner

Sfârşitul încărcării se verifică astfel:

a) f. e. m. la bornele unui element de acumulator este 2,2 V.

b) la suprafaţa elementelor apar gazele rezultate din descompunerea apei. Când încărcarea este terminată, energia electrică este folosită numai pentru descompunerea apei.

Densitatea electrolitului se controlează cu un densimetru care indică prin o linie roşie, ce densitate trebue să aibă electrolitul la sfârşitul încărcării (linia inferioară).

Pentru încărcarea acumulatorului se foloseşte curentul continuu, tensiunea aplicată trebue să fie $U = E + rI$.

Pentru fiecare element este nevoie de 2,2 V; dacă acumulatorul are trei elemente în serie, va fi nevoie de o tensiune de 6,6 V.

Reţeaua electrică având curent alternativ, acumulatoarele nu vor putea fi încărcate, fiindcă aceşti curenţi îşi schimbă polarităţile de 100 de ori pe secundă, deci electronii se mişcă odată într'un sens, odată în celălalt sens; curentul de încărcare trebue să aibă un singur sens, pentru a se menţine aceeaşi polaritate a plăcilor acumulatorului. In acest caz se întrebuinţează un redresor, care redresează curentul alternativ în curent continuu.

In tot timpul încărcării, dopurile pe unde se toarnă electrolitul în elemente se scot, pentru a se permite gazelor să iasă afară.

Descărcarea acumulatoarelor

Intensitatea curentului de descărcare este:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

în care:

R = rezistenţa exterioară pe care se face descărcarea;
r = rezistenţa interioară a acumulatorului;
E = f. e. m. a acumulatorului.

E scade dela 2,2 V, cât este la sfârşitul încărcării acumulatorului, la 2 V pe element, pentru a se menţine constantă mai în tot timpul descărcării; când f. e. m. a scăzut la 1,8 V pe element, descărcarea trebue întreruptă.

Scanned with OKEN Scanner

Constatăm sfârşitul descărcării astfel :

— Măsurăm tensiunea cu un voltmetru, dacă arată 1,8 V de fiecare element;

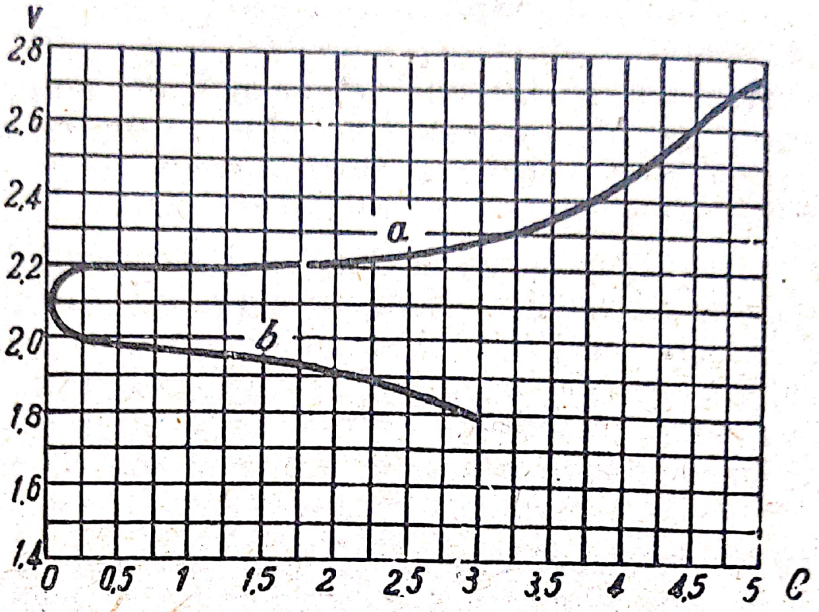


Fig. 154. Curbele f. e. m. a unui acumulator cu plumb în cursul încărcării şi descărcării sale
a) încărcarea,
b) descărcarea,
c) axa timpului în ore.

— Măsurăm gradul de concentraţie al electrolitului, dacă este 18° Bé, sau 1,15 greutate specifică.

Legarea elementelor unui acumulator

Se face ca la pilele electrice.

O baterie de acumulatoare e formată din mai multe elemente de acumulator, legate în serie.

Sulfatarea plăcilor

După un timp de funcţionare, plăcile acumulatorului se acoperă cu un strat de sulfat de plumb care este insolubil în electrolit şi rău conducător de electricitate.

Din cauza marii rezistenţe, curentul nu mai poate ajunge la materia activă, deci fenomenele chimice, pe care se bazează funcţionarea acumulatorului, nu mai au loc; pe măsură ce sulfatarea se accentuează, curentul întâmpină o rezistenţă din ce în ce mai mare, ajungând ca până la urmă el să nu mai

Scanned with OKEN Scanner

facă decât electroliza apei. Când s'a ajuns aici, se spune că sulfatarea este totală, iar acumulatorul nu mai poate fi încărcat, deci devine inutilizabil; îl trecem la reformă sau, dacă sulfatarea nu este prea înaintată, el poate fi supus unei operaţiuni de regenerare.

Cunoaştem că a început fenomenul de sulfatare, dacă apar băşicuţe pe plăcile negative din ce în ce mai multe, care se ridică spre suprafaţa electrolitului (fierbe ca într'un pahar cu sifon, chiar dela începutul încărcării).

După câtva timp, încep să apară linii sau pete albicioase de sulfat de plumb pe plăci ce acoperă suprafaţa lor din ce în ce mai mult . Plăcile pozitive îşi schimbă coloarea dela castaniu la roşu-ruginiu, iar cele negative dela gri-albăstrui, la alburiilăptoase. Suprafaţa plăcilor pozitive este zgrunţuroasă iar a celor negative devine foarte dură (nu mai pot fi împunse cu acul).

Un astfel de acumulator, deşi bine încărcat, se descarcă foarte repede; deşi el a primit energia electrică necesară încărcării, nu a putut s'o înmagazineze sub formă de energie chimică, fiindcă sulfatul de plumb produs nu mai poate fi descompus de curentul de încărcare.

Densitatea electrolitului se ridică până la maximum 22° Bé (nesulfatat se ridică până la 28° Bé).

Sulfatarea plăcilor scufundate în electrolit poate să fie moderată în următoarele condiţiuni:

a) încărcarea să fie completă;
b) descărcarea să nu fie excesivă;
c) intensitatea curentului de încărcare şi descărcare să fie normale;
d) evitarea scurtcircuitelor;
e) plăcile să fie în contact cu aerul;
f) după descărcare să fie pus imediat la încărcare;
g) să nu stea prea mult timp neîntrebuinţat.

Oricât de bine ar fi întreţinut un acumulator, sulfatarea plăcilor se produce zi de zi, ajungând odată la sulfatarea totală.

Sunt diferite procedee de desulfurare a plăcilor. De ex. se încarcă timp de 35-40 de ore, cu un curent de 1/5-1/6 din cel normal de încărcare, apoi se continuă încărcarea cu intensitatea nominală, până când fiecare element arată 2,6-2,7 volţi.

Se descarcă bateria şi i se măsoară capacitatea. Se repetă

Scanned with OKEN Scanner

această operațiune de 3-4 ori, până când capacitatea rămâne constantă, sau aproape de cea normală.

Când nu se reușește, se schimbă plăcile sulfatate.

Caracteristicele acumulatoarelor

1. Capacitatea unui acumulator este cantitatea de electricitate pe care o poate da un element încărcat complet și supus unei descărcări normale (până la 1,8 V).

Capacitatea se dă în amperiore; ea depinde de tipul acumulatorului și este proporțională cu greutatea plăcilor (se ia cca 10-15 Ah pe kg de placă).

2. Regimul, adică curentul maxim admis la încărcare, depinde de tipul acumulatorului și variază între 0,5 și 1,5 A/kg de placă de încărcare, și între 1 și 2 A/kg de placă de descărcare.

3. Energia utilizabilă, adică energia pe care o poate da elementul până la descărcarea completă normală. Ea se dă în waţiore și se determină astfel;

Capacitatea X f. e. m.

Amperiore X volți = volțiamperiore.

Se dă în medie 2 volți de element.

4. Rezistența interioară este de ordinul sutimilor sau miimilor de ohmi.

5. Randamentul unui acumulator poate să fie:

a) în cantitate;

b) în energie.

In cantitate este raportul între cantitatea de electricitate dată (Ah) și cea primită; în regim normal, acest randament este de cca 95%.

In energie este raportul între energia cedată și cea primită, adică,
dacă:

Q = cantitatea de electricitate cedată,

Q' = „ „ „ „ absorbită,

E = f. e. m. în timpul descărcării,

E' = f. e. m. „ „ încărcării,

randamentul în energie este:

$$\frac{W}{W'} = \frac{Q\ E}{Q'\ E}$$

Exemplu

Fie 60 de elemente de acumulatoare, care au:
capacitatea 10 A/kg placă;
regimul 1,5 A/kg placă.
Fiecare element are 30 kg greutate plăci.
a) să le legăm în serie:
Bateria are o f. e. m. de $60 \times 2 = 120$ V.
Regimul bateriei este de $30 \times 10 = 300$ Ah.
Energia utilizată este $= 300 \times 120 = 36\,000$ Wh $= 36$ kW.
b) să le legăm compus, adică să formăm 5 grupe a 12 elemente, legate în paralel:

f. e. m. a bateriei = cu aceea a unui grup, adică $12 \times 2 = 24$ V; având 5 grupe, va fi:
— pe grupă: $1{,}5 \times 30 = 45$ A;
— având 5 grupe, va fi: $45 \times 5 = 225$ A.
Capacitatea va fi:

$$30 \times 10 \times 5 = 1500 \text{ Ah}$$

Energia utilizată va fi:

$$1500 \times 24 = 36\,000 \text{ Wh} = 36 \text{ kWh}$$

Rezultă că energia utilizată este aceeaşi, oricum am lega elementele. F. e. m. creşte dacă le legăm în serie; capacitatea şi regimul cresc când le legăm în paralel.

Intrebuinţările acumulatoarelor cu plumb

A. Ca baterii transportabile, la: demarajul automobilelor, (pornirea automată), pentru aprinderea amestecului exploziv la motoarele cu explozie, pentru iluminatul vehiculelor (auto, avioane, etc.; acestea au câte o baterie care se încarcă automat, în timpul mersului vehiculului), la tracţiunea electrică prin acumulatoare la submarine, la telefonia şi telegrafia cu şi fără fir.

B. Ca baterii fixe, în instalaţii de curent continuu, se întrebuinţează ca rezerve de energie şi ca baterii tampon care vor regla mersul maşinilor.

Scanned with OKEN Scanner

102. Acumulatoarele alcaline

Acumulatoarele alcaline sunt acumulatoarele care în locul plăcilor de plumb au electrozii formați din alte metale, cu scopul de a fi mai robuste și mai ușoare; un astfel de acumulator rezistă la șocuri și nu necesită o îngrijire așa de pretențioasă; ele sunt întrebuințate pentru nevoile militare și pentru tracțiunea electrică.

Principalele acumulatoare alcaline sunt: acumulatoarele

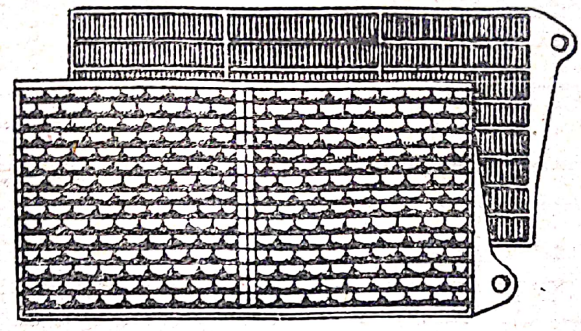


Fig. 155. Plăcile unui acumulator alcalin

fero-nichel și acumulatoarele cadmiu-nichel. La acumulatoarele fero-nichel electrozii sunt făcuți din tablă de oțel nichelată, pe care este fixată materia activă, în pastile pentru placa negativă și în tuburi pentru placa pozitivă (mai rezistenți). Pentru acumulatoarele cadmiu-nichel, materia activă pentru placa pozitivă este $Ni(OH)_3$ = hidratul de nichel și pentru placa negativă cadmiu-nichel poros.

Electrolitul este o soluție de hidrat de potasiu (KOH) de 20% - 21% și apă distilată. Capacitatea acumulatorului mai depinde și de densitatea electrolitului. Se va feri electrolitul de contactul cu aerul, deoarece se formează carbonat de potasiu, ce mărește rezistența interioară a acumulatorului.

Pentru aceasta, depunerile acumulatorului stau închise și orificiile de ieșire a gazelor se fac ca să nu poată pătrunde aerul.

Bacul se face din tablă de oțel, nichelată, sau mai rar din ebonită.

Caracteristicele acumulatoarelor alcaline

a) Forța electromotoare a celor fero-nichel = 1,5 V de element.

Forţa electromotoare a celor cadmiu-nichel = 1,45 V de element.

Ea variază între limite mai mari ca la cel de plumb, în timpul încărcării şi descărcării *(fig. 156)*.

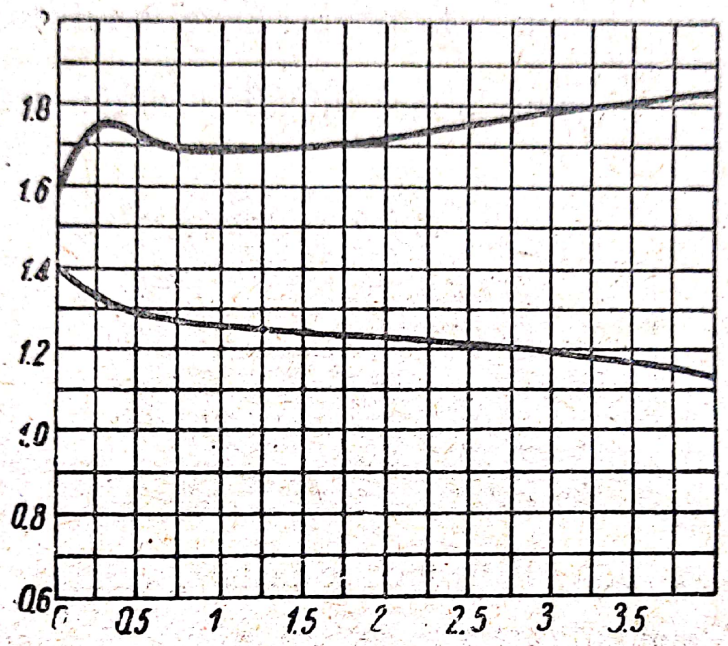


Fig. 156. Curbele f. e. m. a unui acumulator bazic, la încărcarea şi descărcarea lui

b) Rezistenţa interioară este mai mare decât la acumulatoarele cu plăci de plumb.

c) Capacitatea acumulatoarelor alcaline variază cu temperatura; de ex. la 35° C este maximă şi scade cu 2% pentru fiecare grad C.

d) Randamentul în cantitate = 30%;
în energie = 50%.

Intrebuinţările acumulatoarelor alcaline

In bateriile transportabile, acumulatoarele alcaline vor înlocui pe cele cu plumb, fiind mai rezistente, mai uşoare şi necesitând o întreţinere mai puţin pretenţioasă.

In bateriile stabile, se recomandă acumulatoarele cu plumb

Scanned with OKEN Scanner

Temperatura de înghețare a electrolitului

Temperatura de înghețare în grade centigrade	Densitatea electrolitului în grade Baumé
2,5	5
5,5	10
8	15
16	20
29	25
40	30
46	35

Corespondența măsurătorilor gradelor Baumè cu greutățile specifice

Grade Baumé	Greutatea specifică	Grade Baumé	Greutatea specifică
0	1,000 (apă pură)	26	1,220 (apă pură)
10	1,069	27	1,230
15	1,107	28	1,241
16	1,125	29	1,252
17	1,134	30	1,263
18	1,142	31	1,274
19	1,152	32	1,285
20	1,162	33	1,297
21	1,171	34	1,308
22	1,180	—	—
23	1,190	66	1,838
24	1,200	66	acid pur
25	1,210		

Scanned with OKEN Scanner

CAP. XII. CURENTUL ALTERNATIV

Câteva noţiuni trigonometrice

Numim *cerc trigonometric* un cerc cu raza egală cu 1, adică egală cu unitatea.

In cercul din *fig. 157* raza este $OA = 1$.

Un unghiu într'un cerc trigonometric are totdeauna una din laturi OA iar cealaltă o latură oarecare. Astfel:

unghiul $x = OAM$

unghiul $u = AON$

unghiul $v = AOP$ etc.

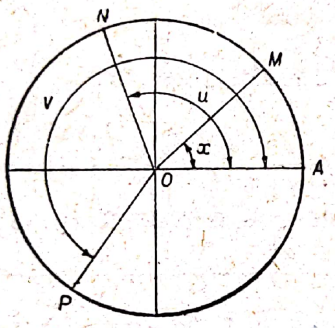


Fig. 157. Cerc trigonometric

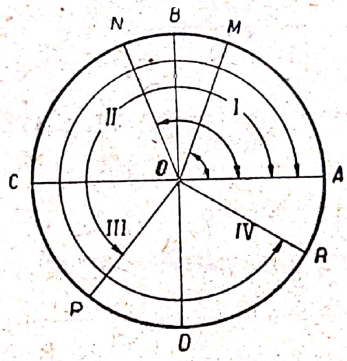


Fig. 158. Cadranele cercului trigonometric

Cercul trigonometric are 4 cadrane *(fig. 158)*. Unghiurile din cadranul 1 sunt cuprinse între 0^0 şi 90^0.

Ex.: unghiul $AOM = 70^0$.

Unghiurile din cadranul II sunt cuprinse între 90^0 şi 180^0.

Ex.: unghiul $AON = 110^0$.

Unghiurile din cadranul III sunt cuprinse între 180^0 şi 270^0.

Ex.: unghiul $AOP = 230^0$.

Unghiurile din cadranul IV sunt cuprinse între 270^0 şi 360^0.

Ex.: unghiul $AOR = 330^0$.

O rotaţie în sens invers acelor de ceasornic făcute pe cerc se spune că se face în sens trigonometric sau pozitiv.

Dacă rotaţia se face în sensul acelor unui ceasornic, sensul rotaţiei se numeşte negativ.

Ex.: dacă punctul M se rotește în sensul săgeții din *fig. 159*, sensul de rotație este invers acelor unui ceasornic, deci trigo-

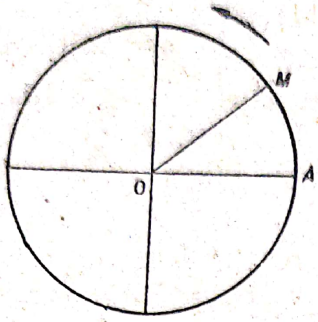


Fig. 159. Sens trigonometric (pozitiv)

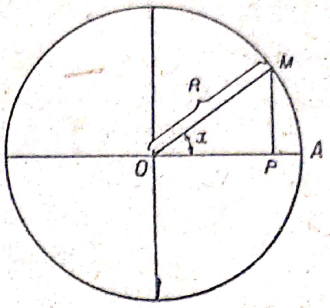


Fig. 160. Funcțiunile trigonometrice

nometric sau pozitiv. Dacă se rotește în sensul acelor unui ceasornic sensul de rotație este negativ.

Sinus și cosinus

— Numim sinusul unghiului x (sin x) raportul $\frac{MP}{OM}$ *(fig. 160)* $\frac{MP}{OM} = \sin x$.

— Numim cosinusul unghiului x (cos x) raportul $\frac{OP}{OM} : \frac{OP}{OM} =$ cos x.

— Numim tangenta unghiului x (tg x) raportul $\frac{MP}{OP}$.

Cum raza cercului trigonometric este luată egală cu 1, atunci MP reprezintă pe sin x și OP reprezintă pe cos x, iar

$$\frac{MP}{OP} = \frac{\sin x}{\cos x} = \text{tg } x.$$

Atât sin x, cos x cât și tg x se numesc *funcțiuni trigonometrice.*

Variația funcțiunii sin x. Sinusoida

Să vedem ce se întâmplă cu sin x când unghiul x variază ca mărime. Pentru aceasta presupunem că punctul M se deplasează pe cerc în sensul săgeții până ajunge în M' *(fig. 161)*. Unghiul x se mărește dar și MP se mărește, deci sin x se mărește și

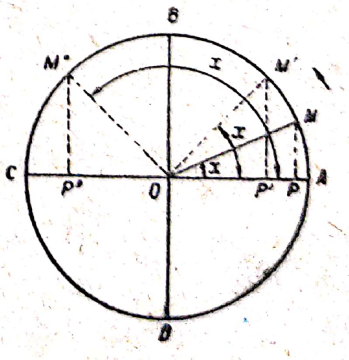


Fig. 161. Variația funcțiunii sin x

devine $M'P'$. Se vede că sin x creşte până când unghiul x ajunge 90^0. La 90^0, sin x are cea mai mare valoare (valoarea maximă = 1). Dacă unghiul x depăşeşte 90^0 se vede că sin x scade ca valoare. Astfel în punctul M'' valoarea lui sin $X = M''P''$ este numai o fracţiune din unitate, care e raza. Când punctul M ajunge în C atunci sin $x = 0$. Dacă mărim mai departe unghiul x se vede că sin x se măreşte până când M ajunge în punctul D. In punctul D valoarea lui sin x este maximă = 1. De astă dată însă valorile lui sin x sunt în josul axei AC. Socotim valorile lui sin x deasupra axei AC ca pozitive şi dedesubtul acestei axe ca negative. Inseamnă că în punctul, D valoarea lui sin x este maximă negativă adică - 1 spre deosebire de punctul B, unde valoarea lui sin x era maximă pozitivă, adică + 1.

Mărind mai departe unghiul x, prin mişcarea punctului M din D spre A, vedem că sin x scade până ajunge în punctul A unde sin $x = 0$.

Această variaţie a lui sin x o putem reprezenta şi altfel *(fig. 162)*.

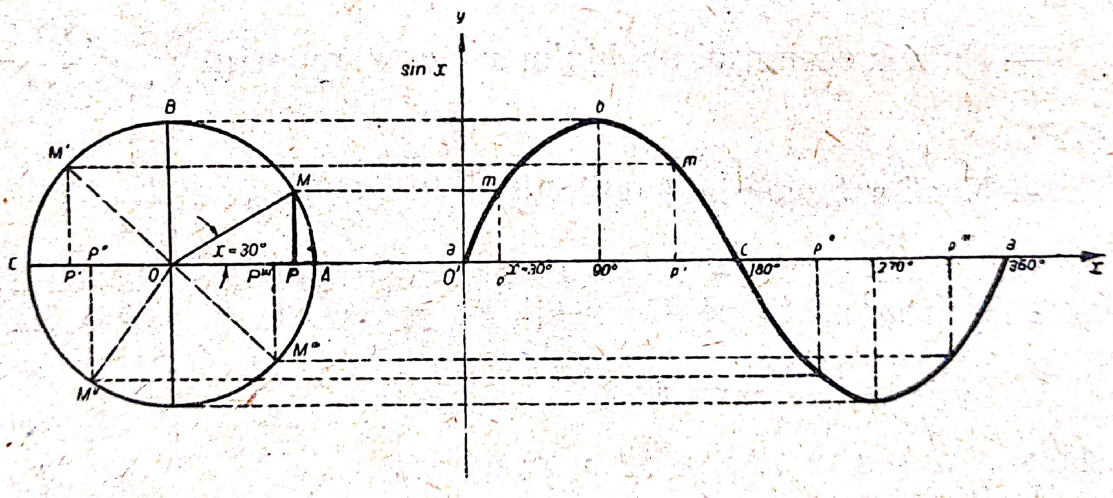


Fig.. 162 Reprezentarea variaţiei lui sin x (sinusoidă)

Luăm în prelungirea lui CA axa $O'x$ şi perpendicular pe ea axa $O'y$. Axa $O'x$ se numeşte *abscisă* şi pe ea punem valorile unghiului x, de pe cercul trigonometric.

Axa $O'y$ se numeşte *ordonată* şi pe ea punem valorile lui sin x pe cerc. La fiecare valoare a lui x de pe axa $O'x$ corespunde o valoare a lui sin x de pe axa $O'y$.

Pe cercul trigonometric, la valoarea oarecare a unghiului

x, de ex. 30^0, corespunde sin $x = MP$. In sistemul $xO'Y$ ducem valoarea unghiului x pe axa $O'x$ (30^0 este a treia parte din unghiul de 90^0, iar unghiul de 90^0 îl reprezentăm prin abscisa 90^0. Fie $O'p$ valoarea unghiului x. Prin punctul p ducem o perpendiculară și din M o orizontală, care se întretaie cu perpendiculara în punctul m. Distanța $mp = MP =$ sin x. Procedând la fel pentru o serie întreagă de valori ale lui x, după cum se vede în *fig. 162* și unind punctele obținute, se ajunge la curba din figură. Această curbă se numește *sinusoidă* și reprezintă variația lui sin x pentru toate valorile unghiului x cuprinse între 0^0 și 360^0.

Dăm în tabloul următor valorile mai importante ale lui sin x față de cele ale unghiului x.

unghiul x	0^0	90^0	180^0	270^0	360^0
sin x	0	1	0	— 1	0

Variația funcțiunii cos x. Cosinusoida

Să vedem ce se întâmplă cu cos x când variază unghiul x *(fig. 163)*.

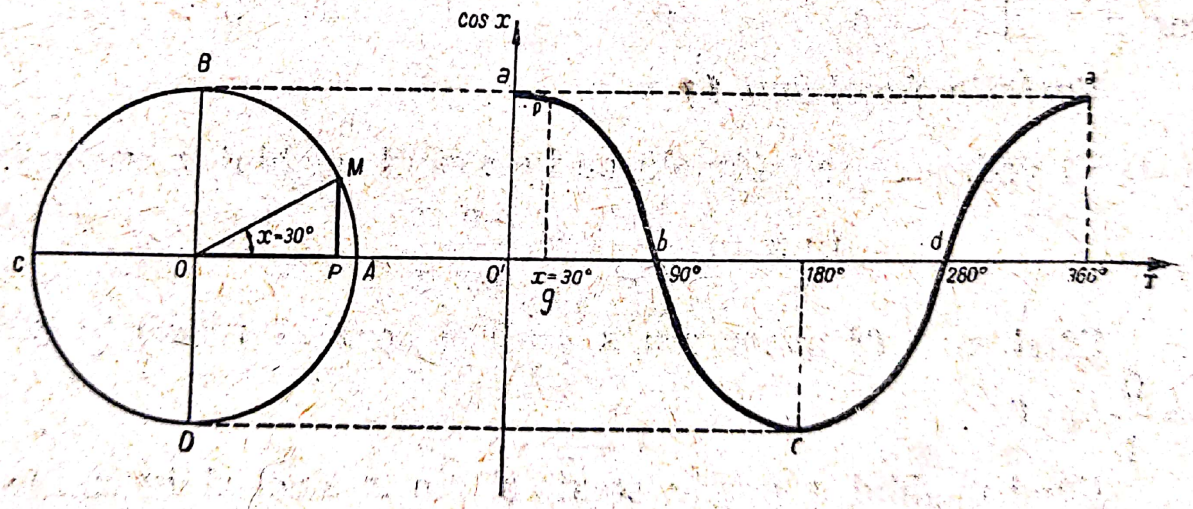


Fig. 163. Reprezentarea variației lui cos x (cosinusoidă)

Socotim pozitive valorile lui cos x în dreapta lui BD și negative pe cele din stânga lui BD.

Pentru punctul M avem unghiul oarecare x și cos $x = OP$.

Pentru punctul A avem unghiul $x = 0^0$ și cos $x = OA =$ 1 (raza)

Pentru punctul B avem unghiul $x = 90^0$ și cos $x =$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru punctul C avem unghiul $x = 180^0$ și cos $x = OC = -1$

Pentru punctul D avem unghiul $x = 270^0$ și cos $x = 0$

Pentru punctul A avem $x = 360^0 = 0^0$ și cos $x = OA = 1$

Pentru ca să transpunem valorile lui cos x în sistemul $x\ O'y$ procedăm astfel:

Pentru $x = 0^0$, luăm din punctul O', ordonata $O'a = OA = \cos x$.

Pentru o valoare oarecare a unghiului, de ex. $x = 30^0$, corespunde pe cercul trigonometric cos $x = OP$. Luăm valoarea lui x și o punem pe axa $O'x$. Avem $x = O'g$. Din punctul g ducem o perpendiculară pe care punem mărimea lui cos $x = OP = gp$. Procedând la fel pentru fiecare punct de pe cerc, obținem curba din figură. Această curbă se numește *cosinusoidă* și reprezintă variația lui cos x pentru toate valorile unghiului x cuprinse între 0^0 și 360^0.

Dăm mai jos valorile mai importante ale lui cos x față de cele ale unghiului x:

Unghiul x	0^0	90^0	180^0	270^0	360^0
cos x	1	0	-1	0	1

Variația funcțiunii tg x

Să vedem ce se întâmplă cu tg x când unghiul x variază:

$$\text{tg } x = \frac{MP}{OP} = \frac{\sin x}{\cos x}.$$

Când $x = 0^0$ avem sin $x = 0$ și cos$x = 1$ deci tg $x = \frac{0}{1} = 0$.

Când unghiul x crește, crește și sin x, deci și tg x. Pentru unghiul $x = 45^0$ avem $MP = OP$, adică sin $45^0 = \cos 45^0$; deci tg $45^0 = \frac{MP}{MP} = 1$.

Dacă x crește, atunci $MP > OP$, deci tg x crește mereu; când $x = 90^0$ avem sin $90^0 = 1$ și cos $90^0 = 0$ deci tg $90^0 = \frac{1}{0} = \infty$ (infinit).

Relaţiile dintre sinusul şi cosinusul aceluiaşi unghiu

Din triunghiul dreptunghiu OPM *(fig. 164)* se vede că: $OM^2 = OP^2 + MP^2$;

dar am definit $\frac{OP}{OM} = \cos x$ şi $\frac{MP}{OM} = \sin x$, cum însă $OM = R = 1$, avem:

$OP = \cos x$; $MP = \sin x$, deci

$1^2 = \cos^2 x + \sin^2 x$, sau:

$$\sin^2 x + \cos^2 x = 1$$

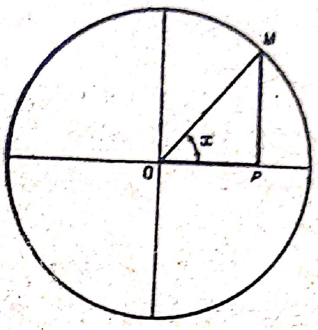


Fig. 164. Relaţia între sinus şi cosinus

Această relaţie exprimă unitatea trigonometrică. De aci putem scoate:

$$\sin^2 x = 1 - \cos^2 x$$

$$\sin x = \sqrt{1 - \cos^2 x}$$

De asemenea putem scoate:

$$\cos^2 x = 1 - \sin^2 x$$

$$\cos x = \sqrt{1 - \sin^2 x}$$

Deci, dacă cunoaştem sinusul unui unghiu, putem afla cosinusul lui şi invers, dacă cunoaştem cosinusul unui unghiu, putem afla sinusul lui; totodată putem afla tangenta acelui unghiu ($tg\ x$).

Exerciţii:

1. Se ştie că: $\sin 30^0 = 0{,}5$ şi se cere valoarea lui $\cos 30^0$:

$$\cos 30^0 = \sqrt{1 - \sin^2 30^0} = \sqrt{1 - 0{,}5^2} = \sqrt{1 - 0{,}25}$$

$$\cos 30^0 = \sqrt{0{,}75} = 0{,}866$$

Tangenta unghiului de 30^0: $tg\ 30^0 = \frac{\sin 30^0}{\cos 30^0} = \frac{0{,}5}{0{,}866} = 0{,}578$

2. Se ştie că $\cos 45^0 = 0{,}717$ se cere valoarea lui $\sin 45^0$

Avem: $\sin 45^0 = \sqrt{1 - \cos^2 45^0} = \sqrt{1 - 0{,}707^2} = \sqrt{1 - 0{,}49985} =$

$$= \sqrt{0{,}50015} = 0{,}707.$$

Scanned with OKEN Scanner

Tot aşa rezultă pentru acest caz: $\operatorname{tg} 45^0 = \frac{0{,}707}{0{,}707} = 1$

căci $\sin 45^0 = 0{,}707$ şi $\cos 45^0 = 0{,}707$.

104. Noţiuni generale şi definiţii relative la curentul alternativ

Fenomenul de inducţie electromagnetică a putut fi folosit în scopuri tehnice numai atunci când s'a găsit modalitatea de a produce în mod neîntrerupt forţa electromotoare în circuitul electric.

Fig. 165 reprezintă dispozitivul cel mai simplu de a produce f. e. m. alternative.

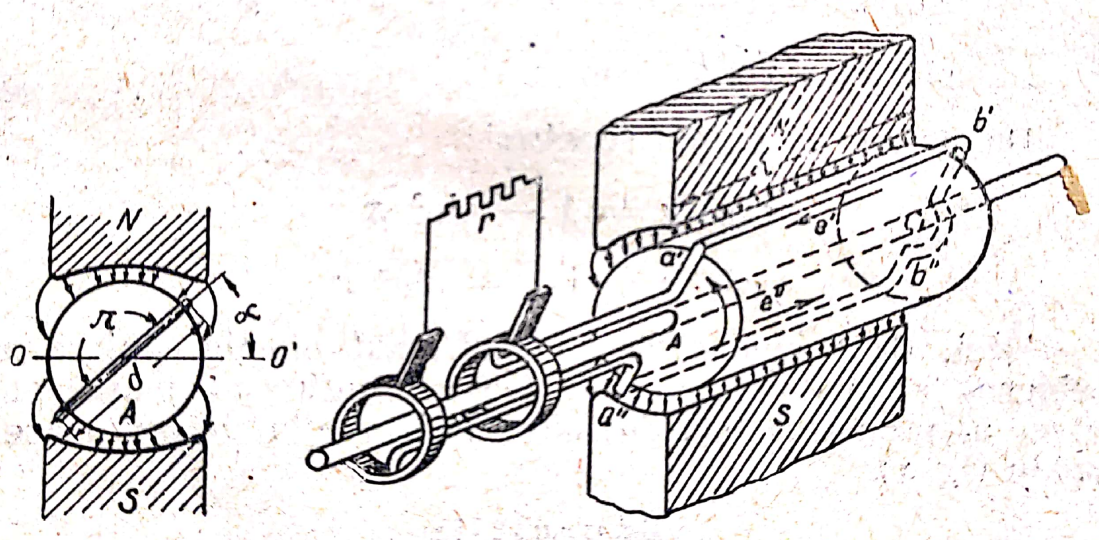


Fig. 165. Schema generatorului simplu de curent alternativ

Dispozitivul se compune dintr'o spiră înfăşurată pe un cilindru de fier, şi care se roteşte cu vitesă constantă între polii unui electromagnet; acesta creează un câmp magnetic constant. Capetele spirei sunt legate la două inele care, prin două perii, sunt puse în legătură cu un circuit exterior de rezistenţă electrică.

Fluxul magnetic ce va străbate spira la fiecare poziţie a ei, va diferi dela moment la moment, deci va fi variabil, deşi câmpul creat de polii electromagnetului rămâne constant.

Scanned with OKEN Scanner

In *fig. 166* sunt date poziţiile spirei la diferite momentS
La poziţia *a* a spirei fluxul ce străbate spira $\Phi = B \times a$ (*B* este inducţia magnetică iar *S* suprafaţa spirei). In poziţia *c*, fluxul ce va străbate spira va fi nul, întru cât suprafaţa spirei este paralelă cu liniile de forţă şi acestea nu vor străbate spira.

Fluxul ce străbate spira dela un moment la altul, când

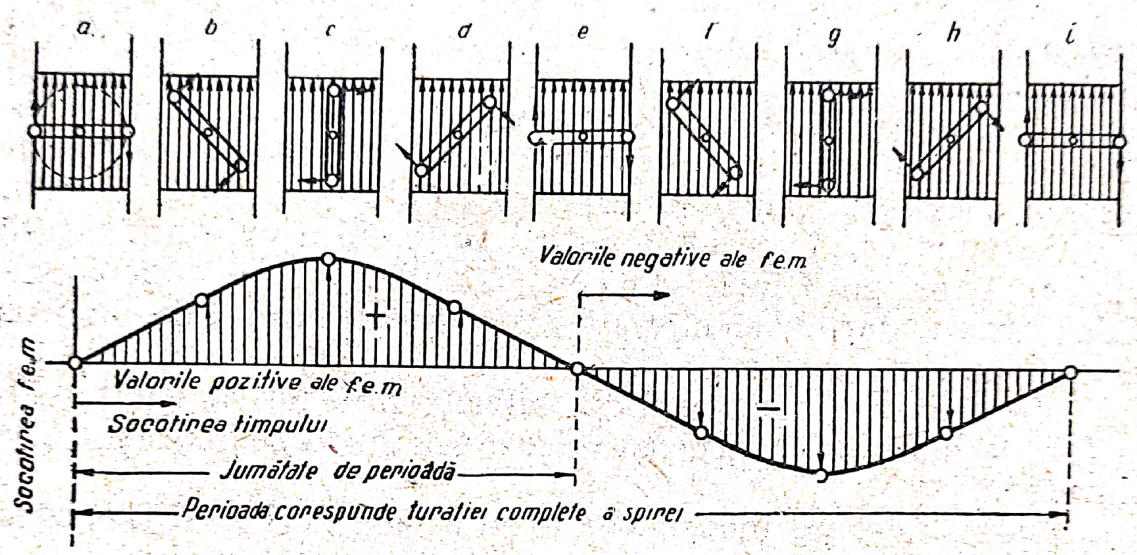


Fig. 166. Variaţia f. e. m. la capetele spirei în rotaţie

spira se roteşte, fiind variabil, va face să se nască în conductorii spirei paraleli cu axul orizontal, forţa electromotoare de asemenea variabilă cu poziţia spirei.

Ştim că valoarea f. e. m. este direct proporţională cu mărimea variaţiei fluxului şi invers proporţională cu mărirea timpului în care se face această variaţie.

In poziţia *a*, f. e. m. va avea valoarea zero, fiindcă la o foarte mică rotaţie a spirei conductorii se vor mişca aproape paralel cu liniile de forţă. Numărul de linii de forţă ce străbat spira nu se schimbă, fluxul rămâne aproape constant, iar forţa electromotoare indusă în spiră rămâne şi ea aproape zero. Pe măsură ce se măreşte unghiul de rotire, avem o variaţie de flux din ce în ce mai pronunţată. Fluxul micşorându-se cu o vitesă mai mare, forţa electromotoare ce se induce se măreşte şi ajunge la valoarea cea mai mare atunci când spira se va găsi în acelaşi plan cu liniile de forţă, adică atunci când fluxul ce trece prin spiră va fi zero (poziţia *c*; sensul f. e. m. stabilit după legea mânii drepte va fi cel arătat în figură).

In poziţia *c* a spirei, deşi fluxul ce trece prin spiră este zero, f. e. m. va fi maximă, deoarece mişcarea conductorului, fiind perpendiculară pe liniile de forţă, la o mică rotire a spirei se obţine variaţia cea mai mare a fluxului şi, cum variaţia fluxului determină mărimea f. e. m. aceasta va fi maximă.

Poziţiile spirei arătate în *fig. 166* ne lămuresc că, dacă continuăm cu mişcarea bobinei, ajungem la aceeaşi poziţie perpendiculară pe liniile de forţe *(e)* când f. e. m. iarăsi va fi zero deşi fluxul ce străbate spira este maxim. Laturile spirei însă şi-au schimbat poziţiile faţă de poli şi, la o rotire mai departe a spirei, f. e. m. indusă va fi de sens contrar, repetându-şi valorile ca mărime, după cum se vede din curba sinusoidă construită pentru diferite poziţii ale spirei faţă de poli.

Se vede că, în timpul rotirii sale, spira este străbătută de flux când pe o faţă, când pe faţa opusă. Acest lucru modifică sensul forţei electromotoare: ea este odată de un sens şi apoi de sens contrar.

La o nouă rotire a spirei, valorile f. e. m. se vor repeta la fel, dacă rotim cu aceeaşi vitesă, formându-se aceeaşi curbă sinusoidă.

Astfel f. e. m. induse vor avea când valori pozitive, când valori negative. Spunem că avem f. e. m. *alternativă.*

Curba sinusoidală care reprezintă variaţiile f. e. m. este formată din două jumătăţi: jumătatea pozitivă se va numi *alternanţa pozitivă* iar jumătatea negativă, *alternanţa negativă.*

Intervalul de timp în care mărimea alternativă îşi capătă aceeaşi valoare, revenind la poziţia de plecare, se numeşte

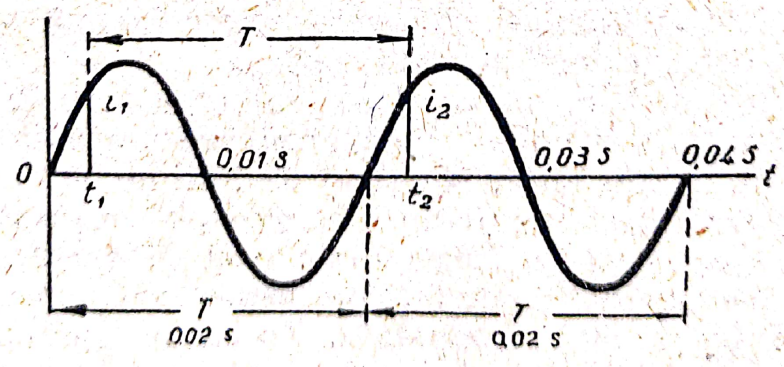


Fig. 167. Graficul curentului alternativ

perioada mărimii alternative şi se notează cu litera *T*, iar totalitatea variaţiilor produse într'o perioadă se numeşte *ciclul* curentului alternativ.

Scanned with OKEN Scanner

Curentul produs de forţa electromotoare alternativă va fi un curent ale cărui valori, ca mărime şi ca sens, se repetă periodic, adică după intervale de timp egale T.

Deci, dacă la un moment oarecare t_1, valoarea curentului este i_1, atunci pentru momentele $t_2 = (t_1 + T)$ şi $t_3 = (t_1 + 2\,T)$, intensităţile curentului vor avea mărimi $i_1 = i_2 = i_3$.

In *fig. 167* este reprezentată grafic intensitatea curentului alternativ. Pe axa absciselor este luat timpul, iar pe axa ordonatelor intensitatea curentului.

Valoarea intensităţii de curent sau a tensiunii alternative la orice moment poartă denumirea de *valoare instantanee* şi se vor nota cu litere mici: curentul cu i, forţa eiectromotoare cu e, tensiunea cu u.

Cea mai mare din valorile instantanee a intensităţii curentului sau tensiunii se numeşte *valoarea maximă* sau *amplitudine* şi se notează respectiv cu litere mari insoţite de indicele m: I_m, U_m.

La un ciclu vom avea valoarea maximă pozitivă şi valoarea maximă negativă, corespunzător fiecărei alternante.

Numărul de cicluri care se produc pe secundă se numeşte *frecvenţa curentului*:

$$f = \frac{1}{T}$$

Intru cât perioada ne arată timpul în care are loc un ciclu, avem:

$$T = \frac{1}{f}$$

deoarece, împărţind secunda cu numărul de cicluri pe secundă, obţinem valoarea perioadei în fracţiuni de secundă.

Unitatea de măsură a frecvenţei se numeşte hertz (Hz), egal cu o perioadă pe secundă.

Exemple

1. Perioada $T = 0{,}04$ s. Frecvenţa $f = 1/T = 1/0{,}04$ s $= 25$ Hz.
2. Frecvenţa $f = 50$ Hz. Perioda $T = 1/f = 1/50$ Hz $= 0{,}02$ s.

Frecvenţa curentului alternativ industrial este de 50 perioade pe secundă = 50 Hz.

105. Obţinerea forţelor electromotoare alternative

Revenim la *fig. 165* ce reprezintă dispozitivul pentru producerea f. e. m. alternative.

Cu o formă potrivită a polilor, se poate obţine pe suprafaţa cilindrului o inducţie magnetică perpendiculară pe aceasta şi variabilă de-a-lungul circumferenţei după legea sinusului.

Planul *O-O'* ce taie cilindrul în punctele unde inducţia *B* este egală cu zero, se numeşte *planul neutru* al generatorului.

Inducţia magnetică în orice punct de pe suprafaţa cilindrului poate fi exprimată prin:

$$B = B_m \sin \alpha$$

unde:

B_m = inducţia maximă sub mijlocul polului,

α = unghiul format de planul neutru şi planul care trece prin axa cilindrului şi printr'un punct arbitrar ales pe suprafaţa sa.

La o mişcare de rotire uniformă a spirei în câmpul magnetic al polilor, în conductorul a'b' se va introduce forţa electromotoare

$$e' = B \times l \times v = B_m \times l \times v \times \sin \alpha = E_m' \sin \alpha$$

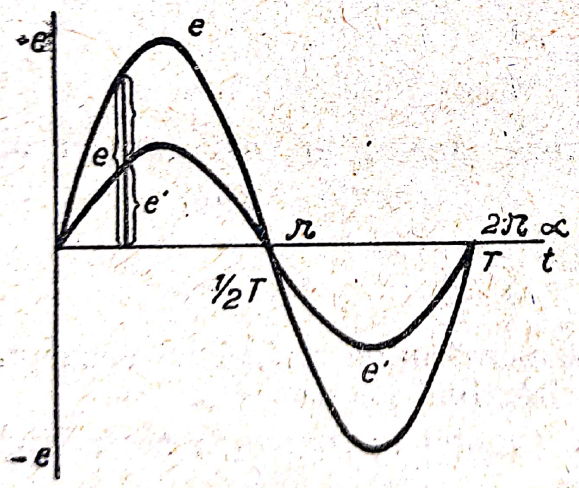


Fig. 168. Curbele f. e. m.

unde:

l = lungimea conductorului,

v = vitesa de deplasare a lui.

F. e. m. induse în conductorii spirei *a'b'* şi *a''b''* sunt egale şi de acelaşi sens, astfel că f. e. m. a spirei este:

$$e = 2e' = 2E_m' \sin \alpha = E_m \sin \alpha$$

In *fig. 168* sunt reprezentate curbele *e'* şi *e*.

Dacă spira se roteşte cu vitesa constantă, atunci unei rotaţii îi va corespunde o perioadă, iar numărul de învârtituri pe secundă, a spirei va fi egal cu numărul de perioade pe secundă, adică va fi egal cu frecvenţa *f*.

$$n' = f = \frac{1}{T}$$

Din mecanică știm că vitesa unghiulară ω este unghiul făcut de un punct în mișcare de rotație în timp de 1 s: dacă α este unghiul făcut în timpul t s, atunci:

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

In cazul curenților alternativi, unghiul corespunzător producerii unui ciclu este egal cu 360^0 electrice, sau 2π.

Vitesa unghiulară ω, în acest caz, este unghiul electric 2π făcut de un punct în mișcare de rotație în timp de T s, adică:

$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \text{ căci } T = \frac{1}{f}$$

Vitesa unghiulară poartă denumirea de *pulsație* sau de *frecvență unghiulară.*

Gradele electrice reprezintă porțiuni de perioadă, un grad electric corespunzând la 1/360 parte din perioadă. Dacă ω este vitesa unghiulară, atunci unghiul α făcut de punct în timpul t este: $\alpha = \omega t$ sau $\alpha = 2\pi f t$. Acest unghiu poartă denumirea de *unghiu electric* și mărimile electrice variază proporțional cu sinusul acestui unghiu.

Unghiul α va determina valoarea f. e. m. induse.

Introducând valoarea lui α în expresia f. e. m. induse în spiră, avem:

$$e = E_m \sin \alpha = E_m \sin \omega t = E_m \sin \frac{2\pi}{T} t = E_m \sin 2\pi f t \text{ unde}$$

E_m este f. e. m. maximă indusă, care pentru o singură spiră are valoarea

$$E_m = 2 B_m l v.$$

Dacă în locul unei spire, pe cilindru se vor găsi N spire în serie, atunci f. e. m. maximă indusă va fi:

$$E_m = 2 B_m l N$$

Exemplu

Intr'un câmp magnetic a cărui inducție variază după legea sinusului *(fig. 165)* se rotește un cadru dreptunghiular, având $d = 20$ cm, $l = 40$ cm

şi $N = 20$ spire. Vitesa de rotaţie a cadranului este de 3000 ture/minut. Inducţia maximă $B_m = 10\,000$ gauşi.

Să se calculeze f, T, E_m şi valorile instantanee ale forţei electromotoare pentru momentele de timp (t): 0; 0,0025; 0,0050; 0,0075; 0,0100015, şi 0,020 s.

Rezolvare:

Vitesa de rotaţie a cadrului este $n, = \frac{n}{60} = \frac{3000}{60} = 50$ rotaţii pe secundă. Frecvenţa corespunzătoare numărului de rotaţii pe secundă a cadrului este $f = n' = 50$ Hz. Perioada: $T = 1/f = 1/50$ Hz $= 0{,}02$ s.

Forţa electromoţoare maximă:

$$E_m = 2B_m\, l\, v\, N = 2\, B_m\, l \frac{\pi\, dn}{60} N = 2 \times 10^4 \times 40 \frac{3{,}14 \times 20 \times 3000}{60} \times 20$$

$$E_m = 502 \text{ V}.$$

In diferite momente de timp, forţa electromotoare are următoarele valori:

pentru $t_1 = 0$:

$$e_1 = E_m \times \sin \omega\, t_1 = E_m \times \sin \frac{2\pi}{T} \times 0 = E_m \times 0 = 0$$

pentru $t_2 = 0{,}0025$:

$$e_2 = E_m \times \sin \omega\, t_2 = E_m \sin \frac{2\pi}{T} t_2 =$$

$$= 502 \times \sin \frac{2\pi}{0{,}02} \times 0{,}0025 = 502 \times \sin \frac{\pi}{4} = 502 \times \sin 45^0 = 502 \times 0{,}707$$

$$e_2 = 365 \text{ V}$$

In mod asemănător $e_3 = 502$ V; $e_4 = 355$ V; $e_5 = 0$; $e_6 = -502$ V $e_7 = 0$.

Problemă. Cu rezultatele obţinute să se traseze la scară graficul f.e.m.

La generatorul având o pereche de poli, durata unei rotaţii a rotorului este egală cu o perioadă.

La generatorul având p perechi poli, la o rotaţie a rotorului, spira va trece sub p perechi poli şi în consecinţă durata unei rotaţii va fi egală cu p perioade.

Scanned with OKEN Scanner

Construcţia generatorului elementar de curent alternativ cu două perechi de poli se vede în *fig. 169.*

Graficul forţei electromotoare a generatorului elementar de curent alternativ având două perechi de poli este dat în *fig. 170.*

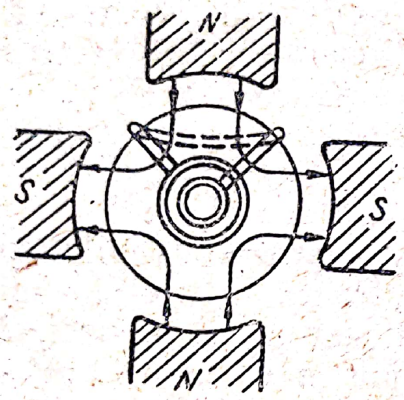


Fig. 169. Generator cu două perechi de poli

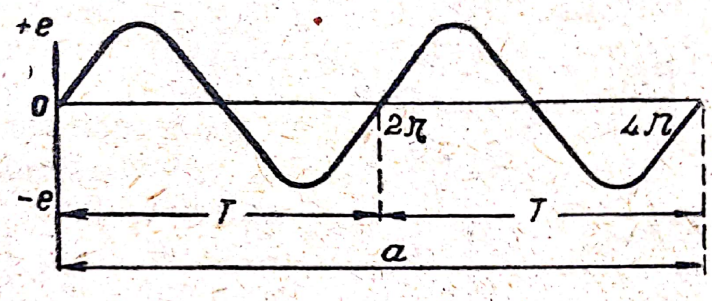


Fig. 170. Graficul f. e. m. a generatorului cu două perechi de poli

Dacă numărul de ture pe secundă îl notăm cu n', atunci frecvenţa va fi:

$$f = p \times n'$$

Având în vedere că $n' = \frac{n}{60}$, obţinem;

$$f = p \frac{n}{60}$$

unde n este numărul de ture al rotorului pe minut.

Exemplu

Un generator are 2 perechi de poli ($p = 2$) şi se roteşte cu vitesă de $n = 1500$ ture/minut. Să se calculeze frecvenţa curentului alternativ.

Soluţia:

$$f = \frac{n \times p}{60} = \frac{1\,500 \times 2}{60} = 50 \text{ Hz.}$$

106. Valori sinusoidale şi determinarea lor

Considerăm un generator elementar de curent alternativ pe cilindrul căruia sunt plasate trei spire identice, cu planurile

lor deplasate în spaţiu una faţă de alta aşa cum arată fig. 171.

In cazul considerat, spira *1* formează cu linia neutră de unghiu α_1, spira a doua se găseşte chiar pe linia neutră ($\alpha = 0$) iar spira a treia formează unghiul α_3 cu linia neutră, însă în sens invers.

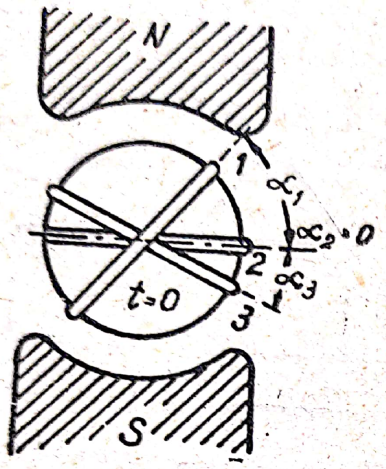


Fig. 171. Poziţia spirelor de pe cilindrul generatorului elementar de curent alternativ

Aceste trei spire, fiind fixate pe cilindru, la învârtirea rotorului în fiecare spiră se va induce o f. e. m. de aceeaşi frecvenţă şi de aceeaşi amplitudine, ele învârtindu-se cu aceeaşi vitesă în acelaşi câmp magnetic.

Insă, datorită faptului că planele spirelor sunt deplasate în spaţiu unul faţă de altul, în fiecare spiră la acelaşi moment f. e. m. vor avea valori diferite şi deci şi valorile maxime ale f. e. m. în fiecare spiră se vor produce la momente diferite.

Dacă rotirea cilindrului se face în sens invers acelor unui ceasornic, atunci valoarea maximă a forţei electromotoare în spira *1* va avea

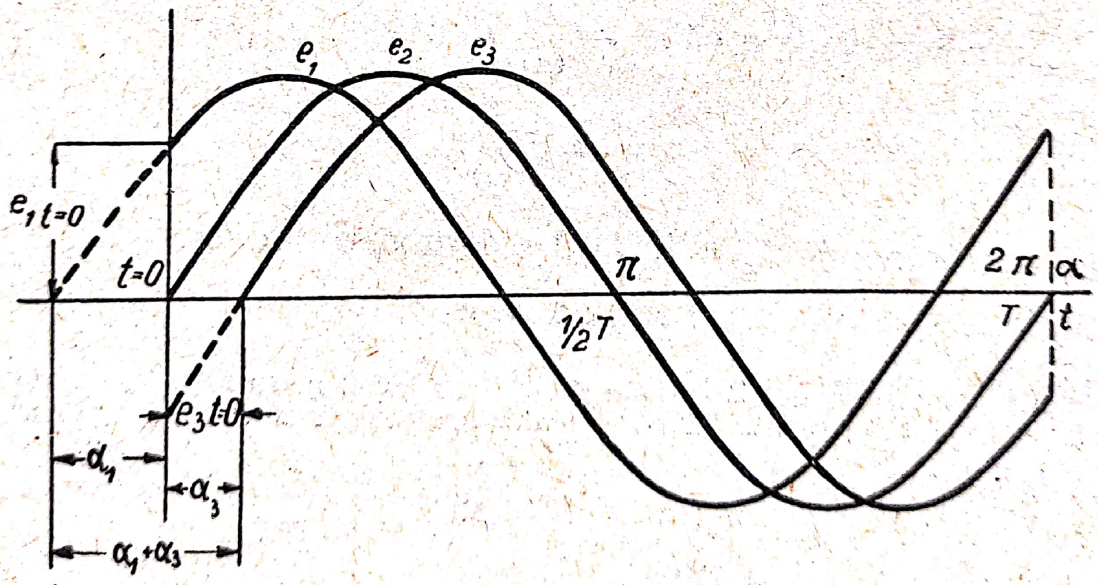


Fig. 172. Graficele f. e. m. ale generatorului elementar de curent alternativ pentru 3 spire considerate separat

loc mai devreme decât în spira *2*, iar în spira *2* mai devreme decât în spira *3 (fig. 172)*.

Scanned with OKEN Scanner

Orice punct de pe sinusoidă, care reprezintă variaţia f. e. m. sau a curentului alternativ, determină *faza* f. e. m. sau a curentului în acel moment.

Poziţia fazei se determină prin numărul de grade electrice cuprinse între ea şi punctul considerat ca iniţial şi care în general corespunde cu valoarea zero a f. e. m., dela care se porneşte construcţia sinusoidei.

Faza se exprimă deci în grade electrice sau radiani; aşa faza la $\frac{1}{4}$ de perioadă se va exprima în grade electrice prin 90^0 sau $\frac{\pi}{2}$ radiani; la o jumătate perioadă avem 180^0 sau π radiani; la $\frac{3}{4}$ de perioadă 270 sau $\frac{3\pi}{2}$ radiani; la sfârşitul perioadei 360^0 sau 2π radiani.

Când 2 f. e. m. au la acelaşi moment aceleaşi valori, se spune că ele se găsesc *în concordanţă de fază* sau *în fază*.

Dacă f. e. m. sau intensităţile de curent alternative nu se găsesc în fază, atunci pentru orice moment ele vor avea valori diferite.

Intrucât gradele electrice reprezintă porţiuni de perioadă exprimate în timp, şi fazele pot fi exprimate de asemenea ca mărimi în funcţie de timp.

Valoarea f.e.m. în spira *1 (fig. 172)* va fi de forma

$$e_1 = E_m \sin (\omega t + \alpha_1)$$

unde α_1 este faza f.e.m. e_1 la momentul iniţial de socotire a timpului la $t = 0$.

$$e_1 t = 0 = E_m \sin (\omega \times 0 + \alpha_1) = E_m \sin \alpha_1$$

e_1 mai poate fi pusă şi sub o altă formă

$$e_1 = E_m \sin (\omega t + \alpha_1)\ E_m \sin (\omega t + \omega t_1) = E_m \sin \omega (t + t_1)$$

unde:

$$t_1 = \frac{\alpha_1}{\omega} = \frac{\alpha_1}{\frac{2\pi}{T}} = \frac{\alpha_1}{2\pi} \cdot T$$

t_1 fiind intervalul de timp între momentul când sinusoida lui e_1 are valoarea zero, până la momentul iniţial de socotire a timpului.

Forţa electromotoare în spira 2 este:

$$e_2 = E_m \sin (\omega\ t + \alpha_2)$$

Intrucât la această spiră momentul iniţial de socotire a timpului coincide cu origina sinusoidei, când f.e.m. $e_2 = 0$, faza α_2 va fi $= 0$.

Deci pentru $t = 0$:

$$e_{2t=0} = E_m \sin (\omega \times 0 + 0) = 0$$

F.e.m. în spira 3 este:

$$e_3 = E_m \sin [\ \omega\ t + (-\ \alpha_3)] = E_m \sin (\omega\ t - \alpha_3)$$

La momentul iniţial de socotire a timpului, pentru $t = 0$ f.e.m. în această spiră are valoarea negativă:

$$e_{3t=0} = E_m \sin (\omega \times 0 - \alpha_3) = E_m \sin (-\ \alpha_3) = -\ E_m \sin \alpha_3:$$

Astfel, orice mărime sinusoidală se caracterizează prin:
1. Amplitudinea sau valoarea maximă;
2. Frecvenţa sau perioada;
3. Faza.

Diferenţa fazelor a două mărimi sinusoidale se numeşte *diferenţă de fază* sau *unghiu de defazaj* al fazelor şi se notează cu litera φ.

De exemplu:

$$\alpha_1 - (-\ \alpha_3) = \alpha_1 + \alpha_3 = \varphi_{13}.$$

In acest caz se spune că e_1 este în *avans de fază* faţă de e_3 cu unghiul de φ_{13} iar e_3 este în întârziere de fază faţă de e_1 cu unghiul de φ_{13}.

Asta înseamnă că e_1 îşi ia valori maxime înaintea lui e_3 cu timpul $t_{13} = \frac{\varphi_{13}}{\omega}$ sau e_3 îşi ia valori maxime mai târziu decât e_1 cu timpul $t_{13} = \frac{\varphi_{13}}{\omega}$.

Exemplu

Se dau două forţe electromotoare; e_1 şi e_2.

$$e_1 = E_m \sin (\omega\ t + \alpha_1) = E_m \sin (\omega\ t + 45^0)$$
$$e_2 = E_m \sin (\omega\ t + \alpha_2) = E_m \sin (\omega\ t + 0)$$

frecvenţa $f = 50$ Hz.

Să se calculeze:
1. Unghiul de defazare al fazelor lui e_1 şi e_2;
2. Timpurile t_1 şi t_2 corespunzătoare fazelor lui e_1 şi e_2.
3. Timpul de defazare al fazelor lui e_1 şi e_2.

Rezolvare:

1. Exprimăm fazele lui e_1 şi e_2 la timpul $t = 0$ în radiani

$$\alpha_1 = \frac{45^0 \times 2\pi}{360^0} = \frac{1}{4}\pi;\quad \alpha_2 = \frac{0^0 \times 2}{360^0} = 0$$

2. Să stabilim unghiul de defazare al fazelor:

$$\varphi_{12} = \alpha_1 - \alpha_2 = 45^0 - 0^0 = 45^0 \text{ sau } \varphi_{12} = \alpha_1 - \alpha_2 = \frac{1}{4}\pi - 0 = \frac{1}{4}\pi$$

3. Să stabilim perioada:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0{,}02 \text{ s.}$$

4. Stabilim timpul, corespunzător fazelor inițiale la $t = 0$

$$t_1 = \frac{\alpha_1}{\omega} = \frac{\frac{\pi}{4}}{\frac{2\pi}{T}} = \frac{\frac{\pi}{4}}{2\pi} T = \frac{1}{8} \times 0{,}02 = 0{,}0025 \text{ s}$$

$$t_2 = \frac{\alpha_2}{\omega} = \frac{0}{\omega} = 0.$$

Originea socotirii timpurilor începe după 0,0025 s dela începutul perioadei e_1 și coincide cu începutul perioadei e_2.

5. Defazajul în timp între fazele e_1 și e_2:

$$t_{12} = t_1 - t_2 = 0{,}0025 - 0 = 0{,}0025 \text{ s}$$

sau

$$t_{12} = \frac{\varphi_{12}}{\omega} \times \frac{\frac{\pi}{4}}{\frac{2\pi}{T}} = \frac{1}{8} T; \frac{1}{8} \times 0{,}02 = 0{,}0025 \text{ s}$$

e_2 atinge valorile sale nule și maxime cu 0,0025 s (sau cu $\frac{1}{8}$ din perioadă) mai târziu decât e_1 *(fig. 172)*.

107. Valorile efective ale tensiunilor și intensităților de curent

Pentru a face comparația între mărimile a doi curenți alternativi sinusoidali, de aceeași frecvență, putem să comparăm amplitudinile lor și putem să spunem că doi curenți alternativi sunt egali atunci când amplitudinile lor sunt egale. Insă, dacă dorim a compara valorile curentului alternativ cu valorile curentului continuu, nu ne putem folosi de amplitudinea curentului alternativ, pentrucă efectul curentului alternativ, care ar avea

amplitudinea egală cu mărimea curentului continuu, ar fi mult mai mic. Pentru comparație vom lua efectul termic al curentului, adică cantitatea de căldură degajată de curentul alternativ și de cel continuu într'o secundă la trecerea prin aceeași rezistență R.

In cazul curentului continuu de valoarea I_c, după legea lui Joule-Lenz cantitatea de căldură degajată pe secundă este:

$$O_c = 0{,}24 \times I_c^2 \times R$$

Cantitatea de căldură degajată pe secundă de curentul alternativ asupra aceleiași rezistențe, având amplitudinea I_m egală cu I_c se găsește prin calcule că este egală cu:

$$Q_{al} = 0{,}24 \times \frac{I_m^2 \times R}{2}$$

Astfel cantitatea de căldură degajată de curentul alternativ se dovedește a fi de 2 ori mai mică decât cea degajată de curentul continuu, având intensitate egală cu intensitatea maximă a curentului alternativ și lucrând asupra aceleiași rezistențe.

Pentru ca să avem aceeași degajare de căldură prin curentul continuu, ca și prin curentul alternativ, intensitatea curentului continuu trebue luată mai mică decât intensitatea maximă a curentului alternativ. Valoarea curentului continuu I_c care, la trecerea prin aceeași rezistență degajează aceeași cantitate de căldură ca și curentul alternativ, măsoară *valoarea efectivă* a intensității curentului alternativ, ceea ce se mai numește și *intensitatea efectivă* și se înseamnă cu I.

Raportul dintre intensitatea efectivă și intensitatea maximă a curentului alternativ sinusoidal se poate găsi dacă egalăm expresiile corespunzătoare acelorași cantități de căldură degajată:

$$0{,}24 \times E^2 \times R = 0{,}24 \frac{I_m^2 \times R}{2}$$

de unde

$$I^2 = \frac{I_m^2}{2}; \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ I_m$$

Valoarea efectivă a tensiunii curentului alternativ (U) se măsoară cu valoarea tensiunii continue care, fiind aplicată

a o rezistență dată, va determina degajarea aceleiași cantități de căldură ca și curentul alternativ considerat.

Se găsește că:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ U_m$$

De asemenea f. e. m.

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

Mai putem scrie:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{1{,}41} = 0{,}707\ I_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{1{,}41} = 0{,}707\ U_m$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{E_m}{1{,}41} = 0{,}707\ E_m$$

Aparatele de măsură, voltmetrele și ampermetrele folosite în curentul alternativ, sunt astfel construite încât să arate direct valorile efective (zise și eficace) pentru tensiune și intensitate.

Exemple

1. Tensiunea unei rețele de curent alternativ măsurată cu voltmetrul este $U = 120$ V. Care este valoarea maximă a tensiunii?

$$U_m = \sqrt{2} \times U = 1{,}41 \times 120 = 170 \text{ V}$$

2. Ce ne va indica ampermetrul legat la rețea, dacă valoarea maximă a intensității curentului $I_m = 28{,}2$ A?

Ampermetrul ne va arăta $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0{,}707 \times 28{,}2 \text{ A} = 20 \text{ A}$

108. Acțiunile electromagnetice ale curenților alternativi

1. Câmpul magnetic produs de un curent alternativ

Considerăm un circuit C și un punct P situat în apropierea acestui circuit.

Când prin circuit trece un curent i, în jurul lui se naşte un câmp magnetic a cărui inducţie în P o notăm cu litera B. Direcţia câmpului este independentă de intensitatea curentului i. Sensul câmpului se schimbă însă dacă se schimbă sensul curentului, aşa cum a stabilit Ampère. Valoarea câmpului se poate calcula exact, după cum am văzut la studiul câmpurilor magnetice.

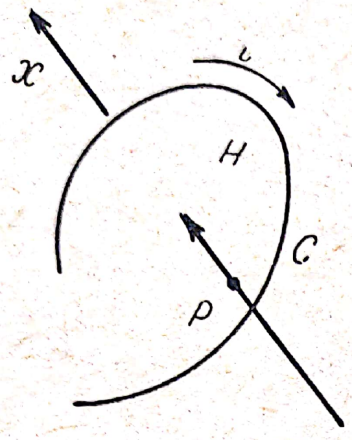


Fig. 178. Circuit

Rezultă că dacă curentul i este alternativ, inducţia B va fi şi ea alternativă, având însă mereu direcţia dreptei Px.

Intensitatea câmpului şi intensitatea curentului, având valori instantanee proporţionale, vor fi reprezentate prin curbe de aceeaşi formă.

2. Acţiunea unui câmp magnetic asupra unui circuit străbătut de un curent alternativ.

Ştim că un conductor străbătut de un curent i şi aşezat într'un câmp magnetic este supus la o forţă electromagnetică, a cărei formulă a fost stabilită de Laplace.

Sensul acestei forţe depinde de natura curentului şi a câmpului magnetic.

Astfel putem avea următoarele cazuri:

Cazul întâi: câmpul şi curentul i constanţi.

Forţa electromotoare este constantă.

Cazul doi: câmpul este constant şi curentul i alternativ:

$$i = I_m \sin \omega t$$

Avem:

$$f = \frac{B l I_m \sin \omega t}{981\,000 \times 10} \text{ kg}$$

Forţa va fi sinusoidală, de aceeaşi frecvenţă cu curentul şi în fază cu el. Amplitudinea va fi

$$\frac{B l I_m}{10}$$

Valoarea medie va fi nulă.

Am notat cu l lungimea conductorului şi cu I_m valoarea maximă a curentului (amplitudinea undei de curent).

Cazul trei: B este alternativ şi I este constant:

Fie $B = B_m \sin \omega t$. Avem la fel:

$$f = \frac{B_m l I \sin \omega t}{981\,000 \times 10} \text{ kg}$$

cu aceleaşi concluzii ca în cazul precedent.

Cazul patru: B şi i sunt alternativi şi de aceeaşi perioadă. Fie B_m şi I_m amplitudinile lor şi φ defazajul lor.

Forţa f este egală cu $\frac{B i l}{981\,000 \times 10}$. Produsul Bi poate să fie consi-

derat ca suma unei constante egale cu $\frac{1}{2} B_m I_m \sin \varphi$ sau $B I \sin \varphi$ şi a unei mărimi variabile de frecvenţă dublă.

Valoarea medie a lui f va fi $\frac{1}{2} B_m I_m l \sin \varphi$ sau $B Il \sin \varphi$. Această valoare medie va fi maximă când B şi i vor fi în fază sau în opoziţie; nulă, când B şi i sunt în cuadratură. Sensul forţei medii este acela al axei forţelor când defazajul $\varphi < 90^0$ şi sensul invers dacă $\varphi > 90^0$.

Cazul cinci: B şi i sunt alternative, dar de pulsaţii ω şi ω' diferite; fie φ şi φ' fazele lor iniţiale. Produsul Bi, adică

$$B_m \sin (\omega t + \varphi) I_m \sin (\omega' t + \varphi')$$

poate fi considerat ca suma a două mărimi sinusoidale de pulsaţii $\omega + \omega'$ şi $\omega - \omega'$. Valoarea medie este de asemenea nulă. La fel şi forţa electromagnetică f.

3. *Acţiunea mecanică a forţelor alternative*

Când se aplică unui obiect mobil o forţă alternativă, aceasta se va mişca alternativ în jurul poziţiei medii, ocupată înainte de el.

Amplitudinea acestei mişcări poate să fie mică dacă masa în mişcare şi frecvenţa sunt foarte mari. Va rezulta, în acest caz, o simplă vibraţie a mobilului în jurul poziţiei ocupate de el, când nu există forţa alternativă.

Aceste consideraţii se pot aplica forţelor de origine electromagnetică studiate mai sus.

Putem obţine fiecare din cele cinci cazuri de mai sus, luând drept conductor filamentul flexibil al unei lămpi de incandescenţă, preferabil de cărbune, pe care îl alimentăm cu un curent continuu şi apoi cu un curent alternativ.

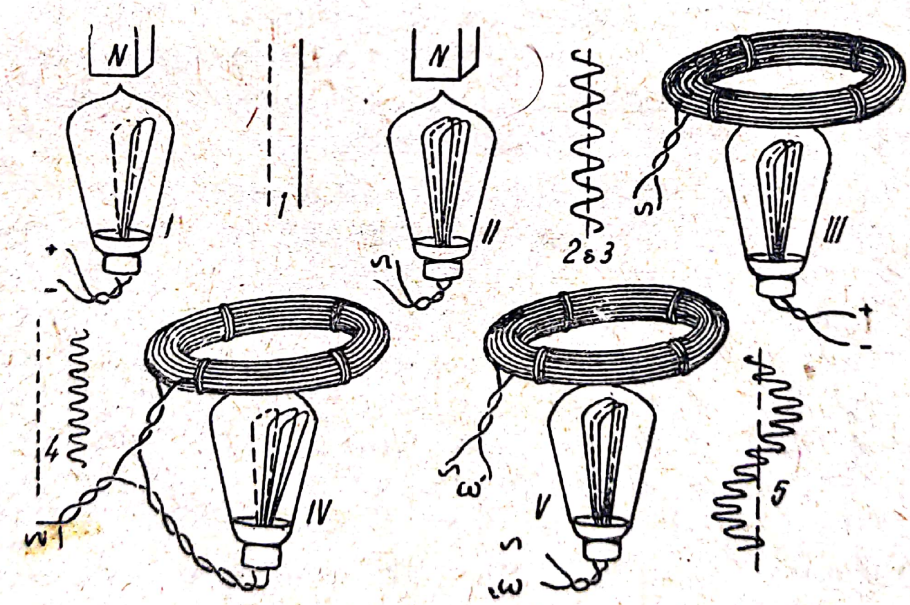


Fig. 174. — 175. Acţiunea forţelor alternative

Filamentul fiind uşor, amplitudinea mişcărilor sale va fi mare (de câţiva mm) şi deci acestea vor putea fi observate cu ochiul liber.

Scanned with OKEN Scanner

Fig. 174-175 arată experienţele făcute pentru cele cinci cazuri. In primul caz filamentul, alimentat de curent continuu este deviat sub acţiunea câmpului magnetic al magnetului *N*. Poziţia filamentului este fixă. In cazul doi şi trei, filamentul oscilează cu o frecvenţă egală cu a curentului în jurul poziţiei medii, care este poziţia sa de repaus. In cazul patru filamentul este supus mai întâi la o deviaţie ca în primul caz şi apoi la o vibraţie de frecvenţă dublă în jurul acestei poziţii. In cazul cinci, filamentul oscilează în jurul poziţiei sale de echilibru, dar după o lege mai complicată.

Dacă în faţa filamentului aşezăm un paravan prevăzut cu o fentă (deschizătură) perpendiculară, cu ajutorul unei oglinzi aşezată potrivit, putem reflecta imaginea luminoasă a filamentului lămpii. Astfel obţinem curbele luminoase pentru oscilaţia filamentului.

In *fig. 174-175* sunt schiţate sub No. I, II, III, IV şi V modul de realizare a experienţelor pentru cele 5 cazuri; iar sub No. 1, 2, 3, 4 şi 5 imaginile luminoase ale oscilaţiilor filamentului.

109. Reprezentarea grafică a mărimilor sinusoidale

Mărimile sinusoidale se pot reprezenta grafic fie prin sinusoide, fie prin vectori.

In primul caz, ordonatele sinusoidei reprezintă, la o scară determinată, valorile instantanee ale mărimii, iar abscisele — intervalele de timp, începând dela originea socotirii timpului. O astfel de reprezentare determină complet mărimea sinusoidală, deoarece dă posibilitatea să se găsească amplitudinea, faza şi perioada acestei mărimi sinusoidale.

In al doilea caz, mărimea sinusoidală se reprezintă printr'un vector care se roteşte. Lungimea vectorului reprezintă la o scară determinată, amplitudinea, iar unghiul pe care-l formează vectorul cu direcţia pozitivă a axei absciselor este egal, la originea timpurilor, cu faza iniţială. Vitesa de rotire a vectorului este egală cu frecvenţa unghiulară. Valoarea instantanee a mărimii sinusoidale, reprezentată printr'un vector, se poate obţine ca proiecţie pe axa ordonatelor vectorului ce se roteşte.

Dacă, spre exemplu, forţa electromotoare este dată prin ecuaţia $e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$, atunci, luând un vector a cărui mărime este egală la o anumită scară cu amplitudinea E_m, să-l

Scanned with OKEN Scanner

așezăm astfel încât să facă unghiu cu direcția pozitivă a axei absciselor *(fig. 176)*.

Dacă acest vector se rotește în sens opus mișcării acelor ceasornicului cu o vitesă unghiulară egală cu frecvența unghiulară (ω), proiecțiile vectorului pe axa ordonatelor (y) vor da

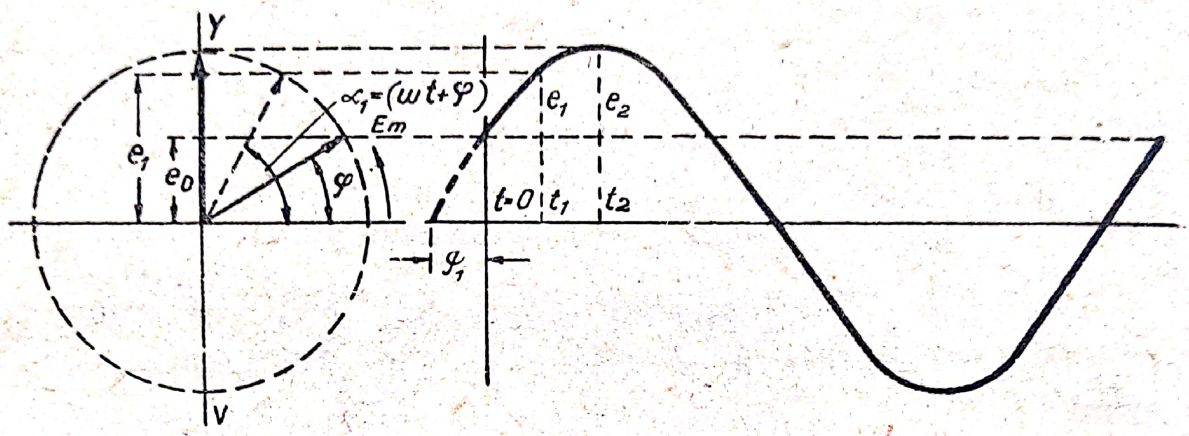


Fig. 176. Reprezentarea unei mărimi sinusoidale prin vector și prin sinusoidă

pentru momentele corespunzătoare valorile instantanee ale f. e. m., deoarece aceste proiecții la scara aleasă reprezintă mărimile.

$$E_m \sin \alpha = E_m \sin (\omega t + \varphi)$$

Totalitatea mai multor vectori, reprezentând mărimi sinusoidale de o anumită frecvență, aceeași pentru toți vectorii, se numește *diagrama vectorială*.

De exemplu, două f. e. m. date $e_1 = E_{1m} \sin (\omega t + \varphi_1)$ și $e_2 = E_{2m} \sin (\omega t + \varphi_2)$ sunt reprezentate în diagrama din *fig. 177* prin doi vectori.

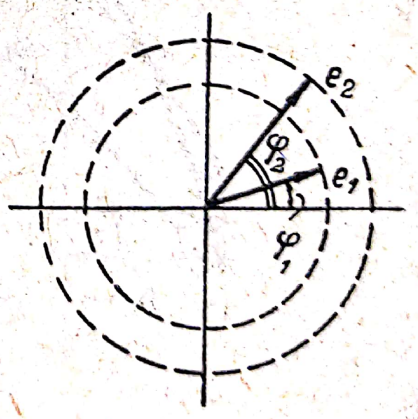


Fig. 177. Diagrama vectorială f. e. m

Toți vectorii aparținând unei aceleiași diagrame vectoriale rotindu-se cu aceeași vitesă unghiulară, nu-și modifică pozițiile, unul față de altul, adică pozițiile lor relative rămân neschimbate. Deoarece pe noi ne interesează numai defazajul între diferitele mărimi sinusoidale atunci, în loc de a așeza toți vectorii în raport cu axa absciselor sub niște unghiuri egale cu unghiurile de fază inițială, se poate da o direcție arbitrară vectorului

care se construeşte în primul rând, iar vectorii ceilalţi să se aşeze faţă de primul vector, făcând cu acesta nişte unghiuri egale cu unghiurile de defazaj respective. Operaţiunea se face purtând unghiurile pozitive în sens invers mişcării acelor ceasornicului, iar pe cele negative în sensul mişcării acelor ceasornicului.

Avantajul reprezentării mărimilor sinusoidale prin vectori constă în faptul că, în această reprezentare, determinarea sumei sau diferenţei câtorva mărimi sinusoidale poate fi efectuată pe cale grafică într'un mod rapid şi simplu, pe când, în cazul reprezentării prin sinusoide, aceste operaţiuni sunt relativ complicate şi necesită mult timp.

Adunarea a două mărimi sinusoidale poate fi înlocuită prin adunarea grafică a sinusoidelor care reprezintă aceste mărimi.

Pentru a se obţine ordonatele curbei care reprezintă suma, este necesar ca, în fiecare moment, să se adune ordonatele curbelor componente. In *fig. 178* este arătată însumarea sinusoidelor, care reprezintă e_1 şi e_2.

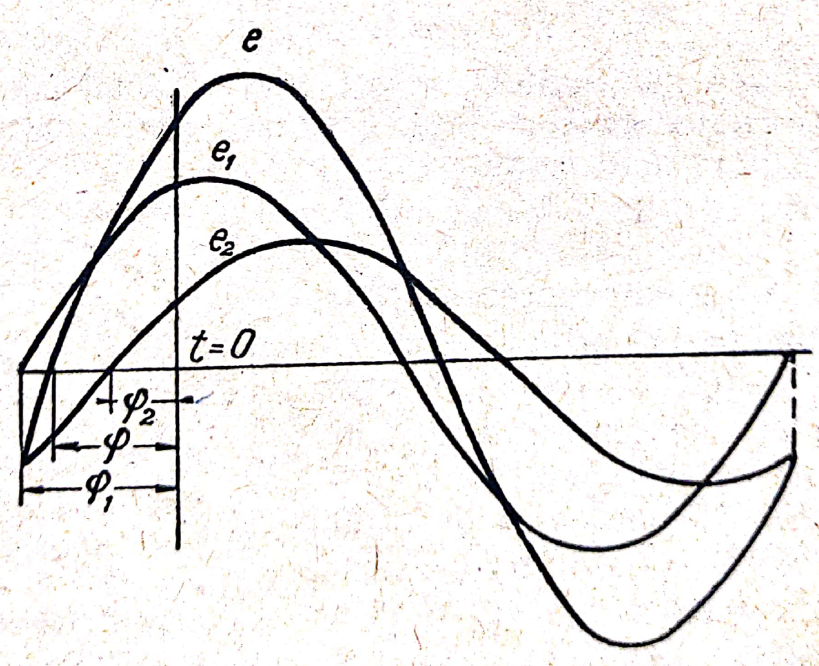


Fig. 178. Adunarea a două sinusoide

Adunarea mărimilor sinusoidale poate fi înlocuită prin adunarea vectorilor, corespunzător mărimii sinusoidale respective.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel dacă sunt date f. e. m.

$$e_1 = E_{1m} \sin (\omega t + \varphi_1) \text{ şi } e_2 = E_{2m} \sin (\omega t + \varphi_2)$$

reprezentate prin vectorii *OA* şi *OB (fig. 179)*, pentru a se efectua adunarea trebue să transportăm vectorul *OB*, paralel cu el însuşi, astfel încât originea lui să coincidă cu extremitatea vectorului *OA*. Vectorul *OC*, care închide triunghiul *OAC*, va fi vectorul rezultant al sumei celor două forţe electromotoare.

Intr'adevăr, proiecţia vectorului *OA* pe axa ordonatelor reprezintă valoarea instantanee e_1; proiecţia vectorului *OB* sau, ceea ce este tot una, a vectorului *AC* egal cu aceasta, pe aceeaşi axă, reprezintă valoarea instantanee e_2, iar suma acestor proiecţii (e_1 şi e_2) este egală cu proiecţia vectorului *OC* care reprezintă suma celor două f. e. m., adică este f. e. m. rezultantă.

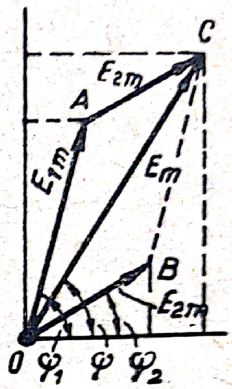


Fig. 179. Adunarea a doi vectori

Din triunghiul vectorilor obţinem expresia amplitudinii f. e. m. rezultante [1]):

$$E_m = \sqrt{E^2_{1m} + E^2_{2m} + 2 \times E_{1m} \times E_{2m} \times \cos (\varphi_1 - \varphi_2)}$$

Unghiul de fază iniţial al f. e. m. rezultante se poate stabili cu ajutorul tangentei sale, care este egală cu raportul dintre proiecţia vectorului E_m pe axa ordonatelor şi proiecţia lui pe axa absciselor *(fig. 179)*.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_m \sin \varphi}{E_m \cos \varphi} = \frac{E_{1m} \sin \varphi_1 + E_{2m} \sin \varphi_2}{E_{1m} \cos \varphi_1 + E_{2m} \cos \varphi_2}$$

In cazul adunării a două mărimi sinusoidale, având un defazaj de 90^0 *(fig. 180)*, caz des întâlnit în practică, se poate scrie:

$$E_m = \sqrt{E^2_{1m} + E^2_{2m} + 2 \times E_{1m} \times E_{2m} \times \cos 90^0} = \sqrt{E^2_{1m} + E^2_{2m}}$$

şi

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_m \sin \varphi}{E_m \cos \varphi} = \frac{E_{1m} \sin 0^0 + E_{2m} \sin 90^0}{E_{1m} \cos 0^0 + E_{2m} \cos 90^0} = \frac{E_{2m}}{E_{1m}}$$

---

[1]) Formula din trigonometrie pentru calculul laturii unui triunghiu vertical, când se cunosc celelalte două laturi şi unghiul dintre ele.

Un alt caz particular, de asemenea des întâlnit în practică, este cazul mărimilor sinusoidale în concordanţă de fază *(fig. 181)*. Se poate dovedi în mod analog că:

$$E_m = E_{1m} + E_{2m}$$

şi

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi_2$$

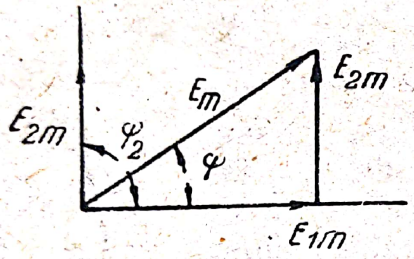


Fig. 180. Adunarea a doi vectori reprezentând f. e. m. defazate cu 90°

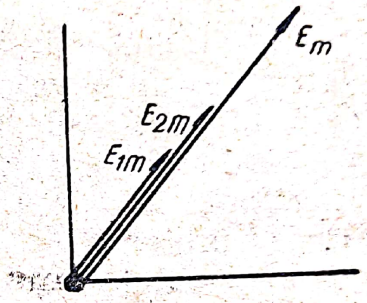


Fig. 181. Adunarea a doi vectori reprezentând f. e. m. în concordanţă de fază

Scăderea a două mărimi sinusoidale se poate înlocui printr'o adunare a vectorului mărimii descăzut cu vectorul invers al mărimii scăzător *(fig. 182)*, deoarece,

$$e_1 - e_2 = e_1 + (-e_2)$$

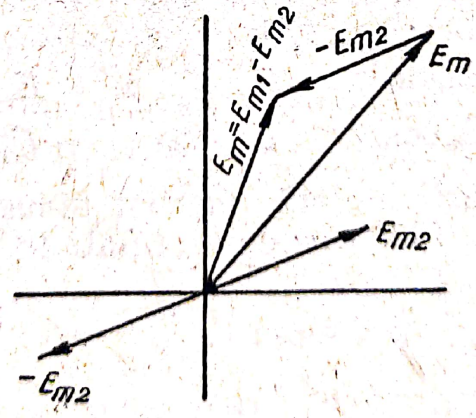


Fig. 182. Scăderea vectorilor

In notaţia adunării geometrice a vectorilor se pun liniuţe orizontale, atât deasupra literelor care exprimă amplitudinea

fiecărei componente, cât și deasupra literei care reprezintă amplitudinea mărimii rezultantei. Astfel adunarea f. e. m., date în *fig. 180* se scrie astfel:

$$\overline{E}_m = \overline{E}_{1m} + \overline{E}_{2m}$$

CAP. XIII. CIRCUITELE DE CURENT ALTERNATIV

110. Considerațiuni generale

Un circuit electric oarecare este caracterizat prin următoarele mărimi: rezistența R, inductivitatea L și capacitatea C.

Astfel, circuitul electric fiind format dintr'un conductor de anumită lungime și secțiune, are rezistența:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

Curentul electric străbătând circuitul produce: 1. încărcarea cu sarcini electrice a câmpului electric (fiecare conductor are o anumită capacitate C, deoarece formează un condensator față de pământ), 2. în câmpul magnetic un flux (fiecare conductor are un anumit coeficient de autoinducție).

Intr'un circuit închis de curent continuu, tensiunea rămânând neschimbată, vor rămâne constante intensitatea curentului, puterea și energia acumulată în câmpul electric și cel magnetic.

Dacă se aplică la bornele circuitului o tensiune alternativă, în acesta va circula un curent alternativ. Câmpul electric și cel magnetic al circuitului, precum și energia înmagazinată în aceste câmpuri vor varia.

In tehnică se întâlnesc circuite în care fenomenele sunt determinate de prezența uneia din mărimile caracteristice circuitului *(R, L, C)*, celelalte mărimi caracteristice manifestându-se foarte slab și, pentru acest motiv, putând fi neglijate.

Astfel, o lampă cu incandescență poate fi considerată ca un circuit cu rezistență R, influența capacității și a inductivității putând fi neglijată. Același lucru se poate spune despre aparatele de încălzire și reostatele.

Din contra, circuitul unui transformator în gol se poate considera ca o bobină, având tensiunea L, influența rezistenței și a capacității acestui circuit fiind neglijabile.

In sfârşit, un cablu sau un circuit de cabluri, lucrând fără sarcină sau în gol, pot fi considerate ca o capacitate, deoarece influenţa inductivităţii şi a rezistenţei sunt foarte mici,

111. Circuit cu rezistenţă ohmică

Dacă aplicăm tensiunea sinusoidală $u = U_m \sin \omega t$ la bornele circuitului de rezistenţă R *(fig. 183)*, în care inductivitatea şi capacitatea sunt neglijabile, adică cazul unui circuit numai cu rezistenţă activă, atunci după legea lui Ohm, valoarea instantanee a intensităţii curentului

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \sin \omega t}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

unde

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$

Aşa dar intensitatea curentului ca şi tensiunea variază sinusoidal; intensitatea curentului are valoarea maximă I_m pozitivă atunci când $\sin \omega t = 1$, adică în acelaşi moment cu tensiunea *(fig. 184)*.

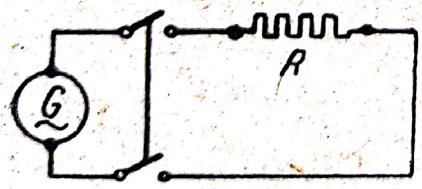


Fig. 183. Circuit numai cu rezistenţă ohmică

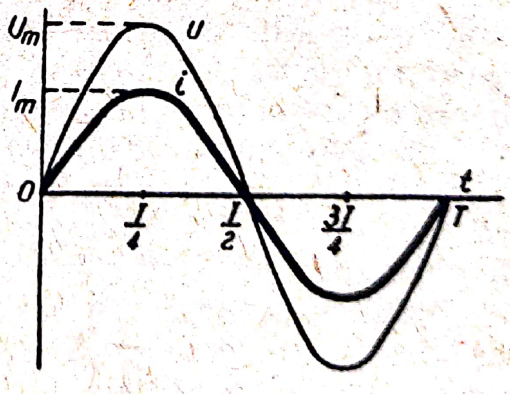


Fig. 184. Graficul tensiunii şi al intensităţii de curent a circuitului numai cu rezistenţă ohmică

Aceasta înseamnă că intensitatea curentului şi a tensiunii se găsesc în fază şi diagrama vectorială are forma din *fig. 185.*

Fiindcă valorile efective a intensității curentului și a tensiunii sunt proporționale cu valorile maxime corespunzătoare.

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \text{ și } I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

atunci, înlocuind în formulă $I_m = \frac{U_m}{r}$

avem

$$\text{I. } \sqrt{2} = \frac{U\sqrt{2}}{R} \text{ sau } I = \frac{U}{R}$$

egalitate ce ne arată că în cazul circuitului alternativ, numai cu rezistență ohmică, legea lui Ohm se aplică valorilor efective a intensității curentului și a tensiunii sub aceeași formă ca și în cazul circuitului de curent continuu, adică valoarea efectivă a intensității curentului este egală cu raportul între valoarea efectivă a tensiunii și rezistența circuitului,

Produsul între valoarea instantanee a tensiunii și valoarea instantanee a intensității curentului, la un moment oarecare,se numește putere instantanee,

$$p = u \times i$$

Fig. 185. Diagrama vectorială a unui circuit numai cu rezistență ohmică

In circuitul numai cu rezistență ohmică, puterea instantanee caracterizează rapiditatea cu care se transformă energia electrică termică. Deoarece $u = iR$, vom avea

$$p = u \times i = i \times R \times i = i^2 \times R$$

Introducând în formula $p = u \times i$ expresiile intensității curentului și a tensiunii, vom obține

$$p = u \times i = U_m \sin \omega t \times I_m \sin \omega t = U_m \times I_m \times \sin^2 \omega t$$

In *fig. 186* este dată curba puterii instantanee. Puterea în tot cursul perioadei este pozitivă, deoarece energia electrică se transformă în energie termică, independent de sensul în care

Scanned with OKEN Scanner

circulă curentul. Ca mărime, puterea variază dela zero (pentru $i = 0$) până la valoarea maximă, apoi scade până la zero (pentru $i = 0$),

$$P_m = U_m \times I_m = I_m^2 \times R \text{ (pt. un curent } i = +I_m)$$

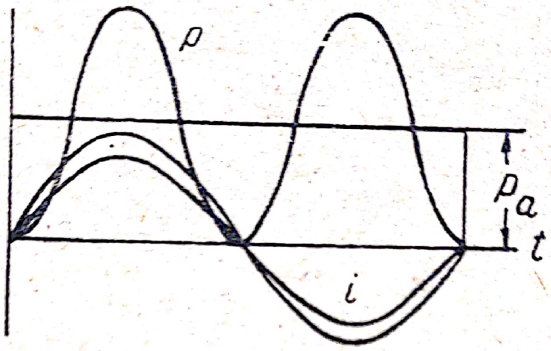


Fig. 186. Graficele intensității curentului, tensiunii și puterii într'un circuit numai cu rezistență ohmică

după care începe să crească și atinge din nou valoarea maximă P_m (pentru un curent $i = -I_m$), ca să scadă până la zero (pentru $i = 0$).

In calculele din practică, pentru circuitele de curent alternativ se folosește adesea noțiunea de *putere medie.*

Se numește putere medie raportul dintre energia cheltuită în circuit în decursul unei perioade și durata acestei perioade.

Puterea medie poate fi reprezentată grafic prin înălțimea unui dreptunghiu care are baza egală cu perioada, iar suprafața echivalentă suprafeței mărginite de curba puterii instantanee și axa absciselor *(fig. 186).*

Prin calcule s'a stabilit că puterea medie P a unui circuit numai cu rezistență ohmică este egală cu produsul dintre valoarea efectivă a tensiunii și valoarea efectivă a intensității curentului

$$P = U \times I$$

Știind că:

$$U = I \times R \text{ iar } I = \frac{U}{R}$$

putem scrie:

$$P = U \times I = I^2 \times R = \frac{U^2}{R}$$

Scanned with OKEN Scanner

Energia consumată în circuit se determină cu ajutorul puterii medii:

$$W = P \times t = U \times I \times t$$

Exemplu

Tensiunea circuitului este $U = 120$ V. Rezistența circuitului $R = 60$ Intensitatea curentului în circuit;

$$I = \frac{U}{R} = \frac{120 \text{ v}}{60} = 2 \text{ A}$$

Puterea medie în circuit: $P = U \times I = 120 \times 2 = 240$ W

Energia cheltuită în circuit într'un interval de timp $t = 2$ ore, se va determina prin

$$W = P \times t = 240 \times 2 = 480 \text{ Wh}$$

112. Circuit cu rezistență ohmică și inductivitate

Circuitul reprezentat în *fig. 187* posedă rezistență ohmică R și inductivitate L. Ca exemplu de un astfel de circuit poate servi bobina oricărui aparat electric.

Dacă la bornele unui astfel de circuit este aplicată o tensiune alternativă, procesul ce se petrece în el este complicat prin ivirea în circuit a forței electromotoare de auto-inducție:

$$e_L = -L \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1},$$

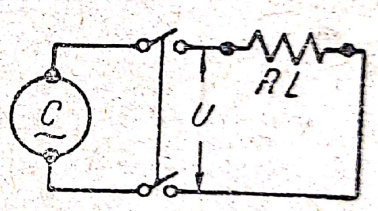


Fig. 187. Circuit cu rezistență ohmică și inductivitate

proporțională cu vitesa de variație a intensității curentului.

Intensitatea curentului în acest caz rezultă din acțiunea simultană a tensiunii exterioare și a f. e. m. de selfinducție.

După legea lui Ohm valoarea instantanee a intensității curentului va fi:

$$i = \frac{u + e_L}{R}$$

sau, înlocuind expresia lui e_L

$$i = \frac{u - L \dfrac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1}}{R}$$

Această expresie poate fi pusă și sub forma

$$i \times R = u - L \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1}$$

$$u = i \times R + L \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1} = u_a + u_r$$

adică tensiunea la bornele circuitului în orice moment este rezultanta a două componente: a tensiunii $u_a = i \times R$ numită *componenta activă* și a doua componentă a tensiunii u_r

$$u_r = L \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1}$$

care echilibrează f. e. m. de auto inducție, numită *componenta reactivă.*

In cele expuse până acum, am presupune că rezistența R și inductivitatea L a circuitului considerat nu sunt separate în spațiu.

Totuși, faptul că tensiunea la borne este constituită din două componente ne dă dreptul să extindem concluziile noastre și asupra circuitelor compuse din două părți dinstincte în spațiu, dintre care una are numai rezistență ohmică R, iar cealaltă are numai inductivitate L *(fig. 188)* cu condiția ca acestea să fie legate în serie. In acest caz tensiunea la bornele circuitului va avea aceleași componente, care vor fi și tensiunile la bornele celor două părți ale circuitului.

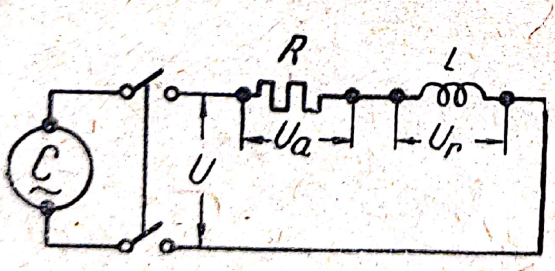


Fig. 188. Circuit cu rezistență ohmică și inductivitate

Dacă admitem că în circuit avem intensitatea curentului sinusoidală și, luând ca momentul inițial momentul când intensitatea curentului trece prin zero, atunci $i = I_m \sin \omega t$.

In acest caz componenta activă a tensiunii va fi

$$u_a = I \times R = I_m \times R \times \sin \omega t = U_m \times \sin \omega t$$

Se vede că această componentă variază după legea sinusului, are amplitudinea $U_m = I_m \times R$ și este în fază cu intensitatea curentului i *(fig. 189).*

Se demonstrează pe cale matematică că a doua componentă (componenta reactivă)

$$u_r = L \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1}$$

variază tot după legea sinusului și este de forma

$$u_r = L \omega I_m \sin (\omega t + 90^0)$$

Amplitudinea acestei componente $U_{rm} = L \omega I_m$, este defazată în avans de fază cu 90^0 față de intensitatea curentului, sau, ceea ce este același lucru, intensitatea curentului este defazată în urmă față de componenta reactivă a tensiunii cu 90^0 *(fig. 190)*.

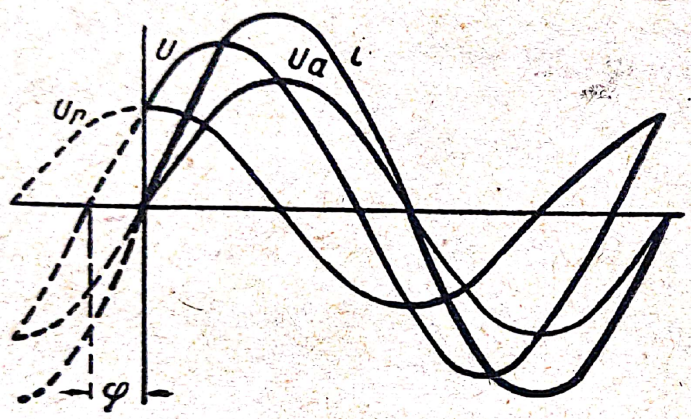


Fig. 189. Graficele tensiunilor și intensității de curent într'un circuit cu rezistență ohmică și inductivitate

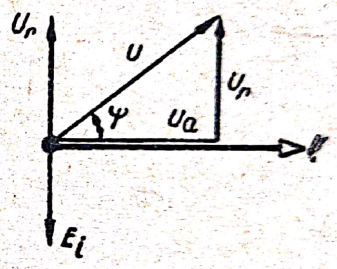


Fig. 190. Diagrama vectorială a unui circuit cu rezistență ohmică și inductivitate

Tensiunea la bornele circuitului este:

$$u = u_a + u_r = U_{am} \sin \omega t + U_{rm} \sin (\omega t + \frac{\pi}{2}) = U_m \sin (\omega t + \varphi)$$

Se vede că această tensiune variază după legea sinusului și are amplitudinea $U_m = \sqrt{U^2_{am} + U^2_{rm}}$ și este defazată în avans față de intensitatea curentului cu unghiul φ sau, ceea ce este tot una, intensitatea curentului este defazată în urmă față de tensiunea u cu unghiul φ.

Valorile efective ale tensiunii active și reactive se găsesc împărțind cu $\sqrt{2}$ amplitudinile corespunzătoare

$$U_m : \sqrt{2} = \sqrt{\left(\frac{U_{am}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{U_{rm}}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

sau

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_r^2}$$

unde

U_a = valoarea efectivă a componentei reactive, U_r = valoarea efectivă a componentei reactive și U valoarea efectivă a tensiunii la bornele circuitului.

Inlocuind în expresiile $U_{am} = I_m \times R$ și $U_{rm} = L\,\omega\,I_m$ pe I_m cu I (valoarea efectivă) obținem:

$$U_a = I \times R \text{ și } U_r = I\,\omega\,L$$

Deoarece valorile instantanee ale tensiunii totale la bornele circuitului sunt egale la fiecare moment cu suma algebrică a valorilor instantanee ale tensiunilor active și reactive, atunci valoarea efectivă a tensiunii totale este egală cu suma geometrică a valorilor efective ale componentelor:

$$\overline{U} = \overline{U_a} + \overline{U_r} = \overline{I\,R} + \overline{I\,\omega\,L}$$

Această adunare geometrică este făcută cu ajutorul diagramei vectoriale *(fig. 190)* unde vectorul $U_a = I\,R$ coincide ca direcție cu vectorul I, iar vectorul $U_r = I\,\omega\,L$ este în avans de fază față de I cu un unghiu de 90^0.

Din triunghiul dreptunghic *(fig. 190)* se determină ușor relația între U și I:

$$(I\,R)^2 + (L\,\omega\,I)^2 = I^2\,R^2 + I^2\,(\mathrm{L}\,\omega)^2 = \mathrm{U}^2$$

de unde

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

Tot din diagrama vectorială determinăm și unghiul φ cu care tensiunea este în avans de fază față de intensitatea curentului sau cu care intensitatea curentului este în întârziere de fază față de tensiune.

$$\mathrm{tg}\,\varphi = \frac{I\,\omega\,L}{I\,R} = \frac{\omega\,L}{R}$$

Relația

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega\,L)^2}}$$

exprimă legea lui Ohm pentru curentul alternativ, iar expresia $\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$ ce intră în această relaţie, care are dimensiunile unei rezistenţe, se numeşte *rezistenţa aparentă* sau *impedanţa* circuitului şi se măsoară în ohmi. Această relaţie arată că valoarea efectivă a intensităţii curentului într'un circuit de curent alternativ cu inductivitate, este mai mică decât intensitatea curentului în circuit de curent continuu supus aceleiaşi tensiuni.

Impedanţa se notează cu litera Z şi atunci legea lui Ohm poate fi pusă sub forma $I = \frac{U}{Z}$.

Mărimea $\frac{1}{Z}$ (inversa impedanţei sau rezistenţei aparente) se notează cu litera Y şi se numeşte *admitanţa* circuitului.

Mărimea

$$\frac{U_r}{I} = -\frac{E_i}{I} = \omega L = 2\pi f L$$

care are de asemenea dimensiunile unei rezistenţe, se numeşte *reactanţă inductivă* şi se notează cu litera X:

$$X_l = \omega L = 2\pi f L.$$

Experienţă. Fie *B (fig. 191)* o bobină cu un număr mare de spire. Legăm mai întâiu bobina la o tensiune continuă şi

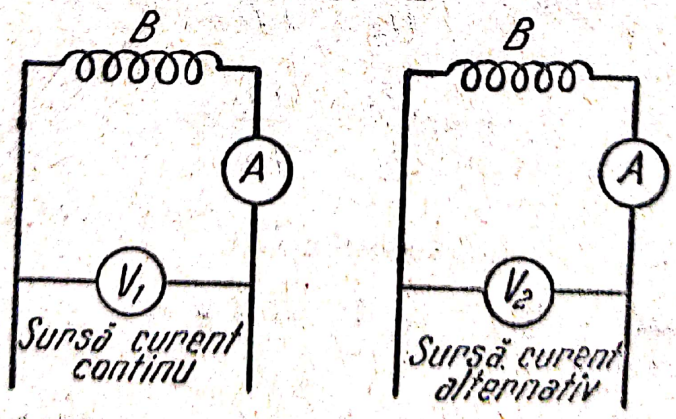


Fig. 191.

măsurăm atât intensitatea cât şi tensiunea. Fie I intensitatea ce se produce sub o tensiune V_1 de curent continuu. Dacă le-

găm acum această bobină la o tensiune alternativă şi potrivim ca intensitatea să fie tot I, atunci, măsurând tensiunea vom găsi alta V_2, care este mai mare ca V_1.

Acest lucru ne spune că, pentru a trece un curent alternativ printr'o bobină, este nevoie de o tensiune mai mare. Deci rezistenţa bobinei pentru curentul alternativ este mai mare.

Reactanţa inductivă este o mărime de calcul, care leagă intensitatea curentului din circuit cu inductivitatea şi tensiunea la bornele circuitului.

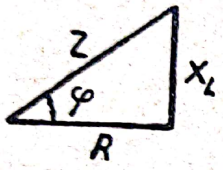


Fig. 192 Triunghiul impedanţei pentru un circuit cu rezistenţă ohmică şi inductivitate legate în serie

Rezistenţa R în circuitele de curent alternativ, spre deosebire de reactanţa inductivă L, se numeşte *rezistenţă activă.*

Rezistenţa R, reactanţa X_1 şi impedanţa Z sunt legate între ele de aceeaşi relaţie ca şi laturile unui triunghiu dreptunghiu, ale cărui catete sunt rezistenţa R şi reactanţa L, iar ipotenuza — impedanţa circuitului Z *(fig. 192)*

Triunghiul impedanţei poate fi obţinut dacă se reduc de I ori laturile triunghiului tensiunilor din diagrama vectorială *(fig. 190).*

Unghiul format de laturile Z şi R ale triunghiului este egal cu unghiul de decalaj al fazelor între tensiune şi intensitatea curentului; aceasta rezultă din expresile:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_r}{U_a} = \frac{I X}{I R} = \frac{I}{R}$$

sau

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{I R}{I Z} = \frac{R}{Z}.$$

Exemplu

Intr'un circuit cu tensiunea de 120 V şi frecvenţa de 50 Hz se conectează o bobină având o inductivitate egală cu 25,5 mH şi o rezistenţă ohmică de 6 Ω.

Să se determine mărimile X_L, Z, I, U_a, U_r şi $\cos \varphi$.

Soluţie:

$$X_L = 2 \pi f L = 2 \times 3{,}14 \times 50 \times 0{,}0255 = 8\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10\,\Omega; \quad I = \frac{U}{Z} = \frac{120\text{ V}}{10\,\Omega} = 12\text{ A}$$

$$U_a = I\,R = 12 \times 6 = 72\text{ V}; \quad U_r = IX_L = 12 \times 8 = 96\text{ V}$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{6}{10} = 0{,}6.$$

In cazul particular, în care rezistența ohmică a circuitului este $R = 0$ *(fig. 193)*, componenta activă a tensiunii este de asemenea egală cu zero și prin urmare, tensiunea aplicată la bornele circuitului este echilibrată în fiecare moment de f. e. m. de selfinducție, deoarece $u + e_L = 0$.

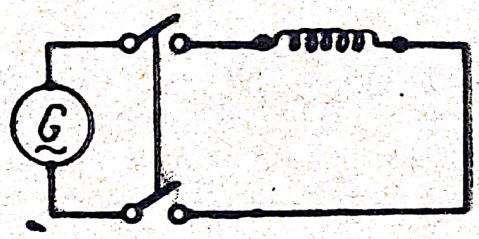


Fig. 193. Circuit cu inductivitate

In acest fel:

$$u = u_r = -e_L = L\,\omega\,I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

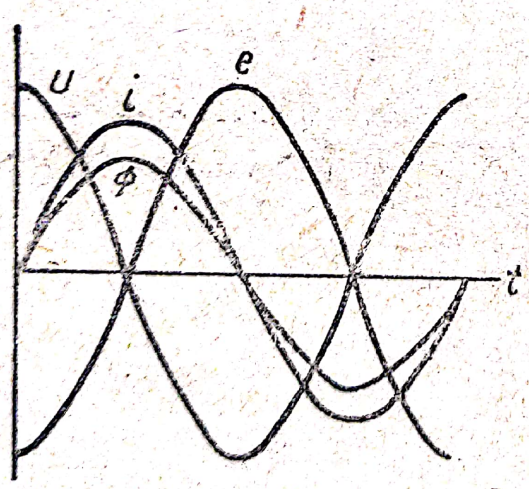


Fig. 194. Graficele f. e. m. de selfinducție, tensiunii, curentului și fluxului într'un circuit cu inductivitate

Fig. 195. Diagrama vectorială a unui circuit cu inductivitate

In *fig. 194* sunt date curbele i, Φ, e_L, u iar în *fig. 195* este reprezentată diagrama vectorială a circuitului.

Defazajul în cazul unei inductanţe se poate vedea prin următoarea experienţă: facem montajul arătat în *fig.196* cu 2 becuri la fel: becul *A* în serie cu o bobină de inducţie serveşte ca ampermetru, iar becul *V* serveşte ca voltmetru. Se leagă bornele *a* şi *b* la o sursă de curent continuu şi se aranjează rezistenţa *R* aşa ca ambele becuri să lumineze la fel de tare.

Desfacem apoi legăturile dela sursa de curent continuu pe care o legăm la bornele *c* şi *d* ale unui comutator special arătat în *fig. 196*, iar bornele *a* şi *b* ale montajului le legăm

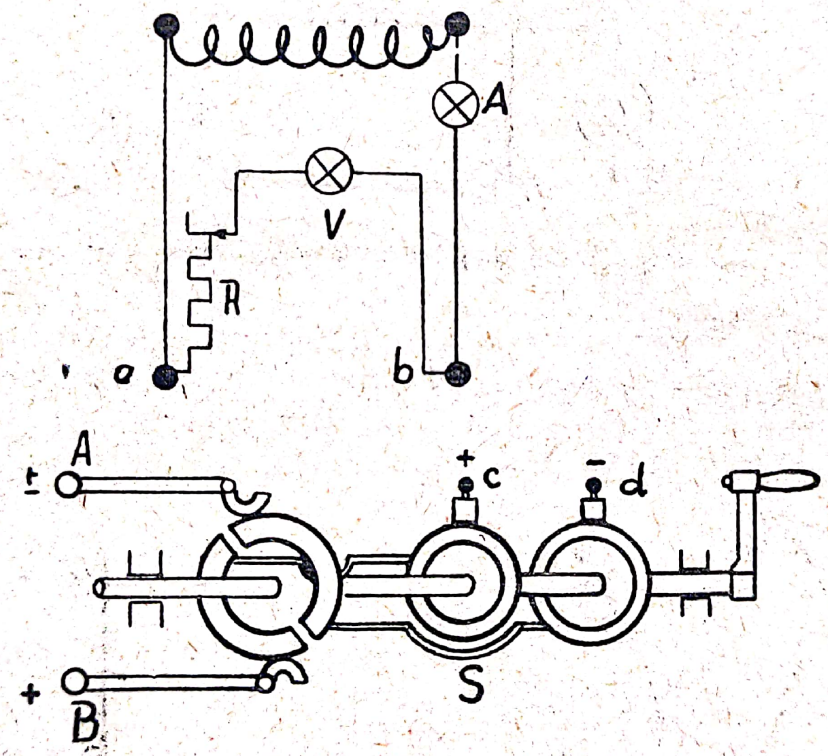


Fig. 196. Defazajul în cazul unei inductanţe

la bornele *A* şi *B* ale comutatorului. Prin rotirea comutatorului se poate obţine la bornele *a* şi *b* un curent alternativ de frecvenţă mică.

Becurile vor lumina în tact cu frecvenţa, însă nu la fel şi nici deodată, ci unul după altul, şi anume *A* va lumina după *V*. De aici tragem concluzia că tensiunea merge înaintea cu-

rentului, deci avem o diferență de fază între ele, datorită inducției *(fig. 197)*.

Defazajul de $\frac{\pi}{2}$ al forței electromotoare de autoinducție față de intensitatea curentului, se explică prin faptul că, la trecerea curentului, deci la trecerea fluxului magnetic prin valoarea zero, vitesa de variație a intensității curentului este maximă, ceea ce corespunde unui maximum pentru f. e. m. de

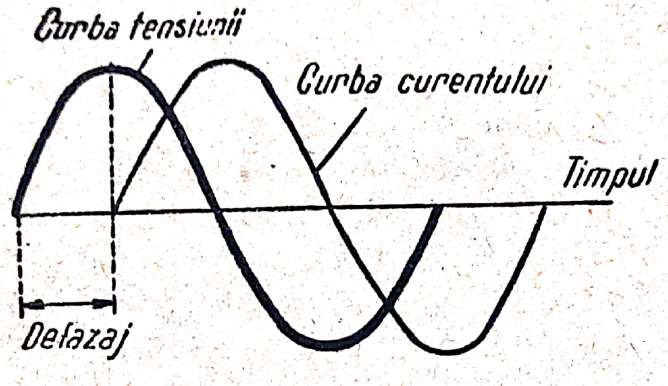


Fig. 197. Defazajul între tensiune și curent

autoinducție. Invers, la trecerea curentului prin valoarea maximă, vitesa lui de variație este nulă, ceea ce corespunde valorilor nule ale f. e m. de autoinducție. Astfel, f. e. m. indusă este defazată în urma intensității curentului cu $^1/_4$ de perioadă iar tensiunea care o echilibrează, este defazată înaintea intensității curentului cu $^1/_4$ perioadă, sau ceea ce este tot una, intensitatea curentului este defazată în urma tensiunii cu $^1/_4$ de perioadă sau cu 90^0.

Odată cu aceasta avem:

$$U_m = -E_{Lm} = I_m \omega L$$

sau împărțim partea dreaptă și partea stângă a ecuației prin $\sqrt{2}$, se obține

$$U = U_L = -E_L = I \omega L = I X_L .$$

Exemplu

O bobină având inductivitatea $L = 0{,}03$ H este montată într'un circuit care are o frecvență de 50 Hz și tensiunea de 120 V. Să se calculeze reactanța inductivă și intensitatea curentului din circuit

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3{,}14 \times 50 \times 0{,}003 = 9{,}4\ \Omega$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{120}{9{,}4} = 12{,}8\ \text{A},$$

Dacă circuitul este constituit din două bobine montate în serie *(fig. 198)* și este parcurs de un curent I, tensiunile la rezistențele ohmice vor fi în fază cu intensitatea curentului și respectiv egale cu $U_{a1} = IR_1$ și $U_{a2} = IR_2$ iar tensiunile în reactanțe vor fi decalate înaintea intensității curentului cu 90° și vor fi egale cu $U_{r1} = IX_1$ și $U_{r2} = IX_2$ *(fig. 199)*.

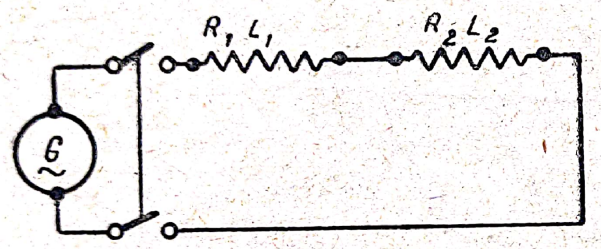


Fig. 198. Circuit format din două bobine legate în serie

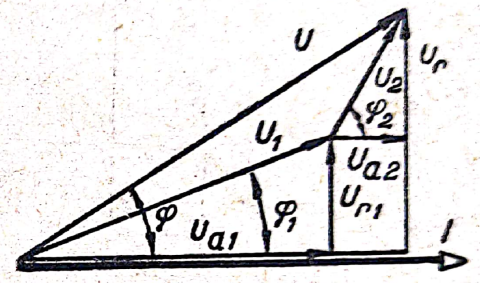


Fig. 199. Diagrama vectorială a circuitului reprezentat în fig. 198

Tensiunile la bornele bobinelor sunt:

$$U_1 = \sqrt{U_{a1}^2 + U_{r1}^2} \text{ și } U_2 = \sqrt{U_{a2}^2 + U_{r2}^2}$$

Tensiunea la bornele circuitului va fi:

$$U = \sqrt{(U_{a1} + U_{a2})^2 + (U_{r1} + U_{r2})^2},$$

sau, exprimând componentele tensiunilor cu ajutorul intensității curentului și a rezistențelor respective, vom căpăta:

$$U = \sqrt{IR_1 + IR_2)^2 + IX_1 + IX_2)^2} = I\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

de unde rezultă intensitatea curentului în circuit:

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} = \frac{U}{Z}.$$

Rezistența aparentă sau impedanța circuitului:

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

poate fi reprezentată grafic prin latura care închide triunghiul rezistențelor *(fig. 200)*; acest triunghiu se poate obține din diagrama vectorială prin reducerea de *I* ori a fiecărei laturi a triunghiului tensiunilor.

Unghiul de decalaj a intensității curentului față de tensiunea circuitului poate fi determinat din diagrama vectorială sau din triunghiul rezistențelor cu ajutorul tangentei acesteia.

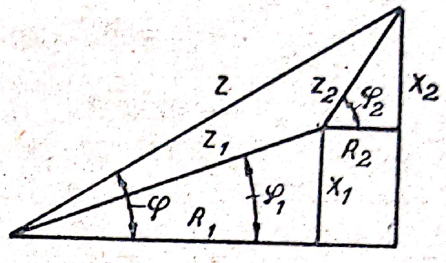


Fig. 200. Triunghiul rezistențelor pentru circuitul reprezentat în fig. 198

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{U_r}{U_a} = \frac{X}{R}$$

sau cu ajutorul cosinusului

$$\cos\varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{R}{Z}.$$

Puterea dată de generator și consumată în circuit, în general poate fi exprimată pentru un moment oarecare prin formula

$$p = u\,i.$$

Dacă intensitatea curentului și tensiunea sunt sinusoidale și tensiunea este defazată față de intensitatea curentului cu unghiul pozitiv sau negativ, atunci valorile lor instantanee pot fi exprimate

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$u = U_m \sin (\omega t + \varphi)$$

iar puterea instantanee

$$p = U_m \sin (\omega t + \varphi)\; I_m \sin \omega t =$$

$$U_m I_m \sin (a t + \varphi) \sin \omega t.$$

Dar $U_m = U\sqrt{2}$; $I_m = I\sqrt{2}$, astfel că $U_m I_m = 2UI$.

Pe de altă parte, după formula trigonometrică cunoscută, $\sin\alpha \times \sin\beta = \frac{1}{2}\cos(\alpha - \beta) - \frac{1}{2}\cos(\alpha + \beta)$ putem să scriem

$\sin(\omega t + \varphi) \times \sin \omega t = \frac{1}{2} \cos \varphi - \frac{1}{2} \cos(2\omega t + \varphi)$ înlocuindu-le în formula lui p, obţinem

$$p = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t + \varphi).$$

Astfel — puterea instantanee a curentului alternativ poate fi prezentată sub forma unei sume a două mărimi — mărimea constantă $UI \cos \varphi$ şi mărimea variabilă $UI \cos(2\omega t + \varphi)$, care variază periodic cu pulsaţia dublă celeia a tensiunii sau a intensităţii curentului. Curba puterii instantanee este reprezentată în *fig. 201.*

Ordonatele curbei sunt obţinute prin înmulţirea valorilor instantanee corespunzătoare ale tensiunii şi intensităţii curentului. In acele intervale de timp, în care tensiunea şi intensitatea curentului au acelaşi semn, puterea instantanee este pozitivă. In intervalele de timp, în care tensiunea şi intensitatea curentului sunt de semne contrare, puterea instantanee este negativă.

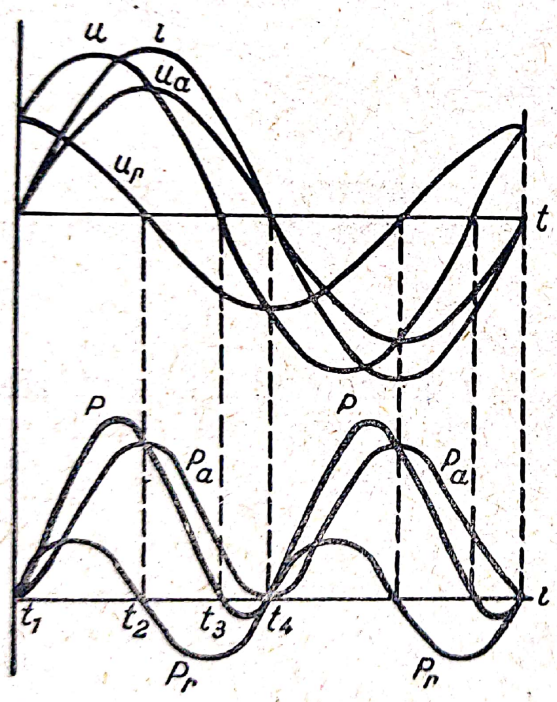


Fig. 201. Graficele tensiunii, intensităţii curentului şi puterii într'un circuit cu rezistenţă ohmică şi inductivitate.

Semnul pozitiv al puterii arată că circuitul primeşte energie dela generatorul electric, iar semnul negativ că circuitul restitue energie generatorului.

Deoarece tensiunea circuitului are două componente, se poate considera şi putere rezultând din două componente: activă (watată) şi reactivă (dewatată).

Ordonatele curbei puterii instantanee se pot obţine ca suma ordonatelor curbelor puterii active şi reactive.

Astfel putem scrie

$$p = u\,i = (u_a + u_r)\,i = u_a\,i + u_r\,i = p_a + p_r$$

Scanned with OKEN Scanner

Puterea instantanee activă caracterizează vitesa de transformare a energiei electrice în energie termică. Această putere rămâne pozitivă în decursul perioadei şi variază dela zero până la valoarea maximă.

Valoarea medie a puterii active într'o perioadă, denumită simplu *putere activă*, reprezintă raportul dintre energia consumată în cursul perioadei în rezistenţă activă şi durata perioadei.

Se demonstrează că

$$P = U I \cos \varphi$$

adică *puterea activă a circuitului este egală cu produsul valorilor efective a tensiunii şi intensităţii curentului înmulţită cu cos* φ,

Puterea instantanee reactivă poate fi exprimată prin

$$p_r = u_r\, i = U_{rm} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) I_m \sin \omega t =$$

$$U_{rm} I_m \cos \omega t \sin \omega t = \frac{U_{rm} I_m}{2} \sin 2 \omega t = U_r I \sin 2 \omega t$$

de unde se vede că puterea reactivă are pulsaţia dublă faţă de pulsaţia tensiunii sau a intensităţii de curent.

Aceasta înseamnă că puterea reactivă capătă valori maxime pozitive de două ori în timp de o perioadă şi tot de două ori valori maxime negative.

In primul sfert de perioadă când intensitatea curentului şi fluxul magnetic al circuitului cresc dela zero până la valorile lor maxime, absorbind energie dela generator, energia acumulată de câmpul magnetic creşte dela zero până la valoarea maximă, iar puterea reactivă este pozitivă. In timpul celui de al doilea sfert de perioadă, când intensitatea curentului şi fluxul magnetic scad dela valorile lor maxime până la valoarea zero, scade până la zero şi energia acumulată în câmpul magnetic al circuitului, iar puterea reactivă a circuitului este negativă. In timpul celui de al treilea sfert şi al patrulea al perioadei fenomenele se repetă. Prin urmare în decursul unei perioade energia reactivă $W_{Lm} = L \frac{I^2_m}{2}$ este debitată de două ori în circuit de către generator şi este restituită tot de două ori generatorului de către circuit. Valoarea medie în decursul

perioadei a puterii reactive este egală cu zero: P_r *med.* $= 0$.

De aceea, pentru a caracteriza vitesa cu care se face schimbul de energie între generator şi circuit, se foloseşte valoarea maximă a puterii, numită *puterea reactivă* a circuitului

$$P_r = U_r I = I \omega L I = I^2 \omega L = U I \sin \varphi.$$

Puterea medie în decursul unei perioade a unui circuit, compus din rezistenţă ohmică şi inductivitate, reprezintă raportul dintre energia consumată în circuit în decursul perioadei şi durata perioadei. Deoarece energia care se consumă în reactanţă este egală cu zero, rezultă în mod evident că energia care se consumă într'o perioadă în întreg circuitul, este egală cu energia ce se consumă în rezistenţa activă.

Prin urmare puterea medie a circuitului va fi egală cu puterea medie activă P sau cu puterea activă a circuitului, adică,

$$P = U I \cos \varphi.$$

Produsul dintre valoarea efectivă a tensiunii şi valoarea efectivă a intensităţii curentului în circuit se numeşte puterea aparentă şi se notează cu P_a.

$$P_a = U I.$$

Puterea aparentă este o mărime de calcul.

Puterile: aparentă, activă şi reactivă sunt legate între ele prin relaţia

$$\sqrt{P^2 + P_r^2} = \sqrt{I^2 U^2 \cos^2 \varphi + I^2 U^2 \sin^2 \varphi} =$$
$$= U I \sqrt{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi} = U I = P_a.$$

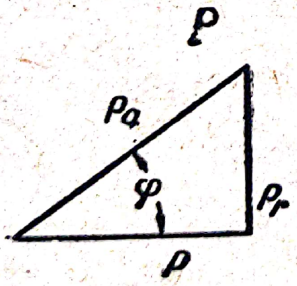


Fig. 202. Triunghiul puterilor.

Aceste relaţii determină un triunghiu dreptunghiu, ale cărui catete reprezintă puterile activă şi reactivă, iar ipotenuza puterea aparentă a circuitului *(fig. 202)*.

Triunghiul puterilor se poate obţine din triunghiul tensiunilor *(fig. 202)* înmulţind cu I laturile acestui triunghiu.

Din triunghiul puterilor rezultă:

$$P = P_a \cos \varphi \; ; \; P_r = P_a \sin \varphi.$$

Scanned with OKEN Scanner

Raportul dintre puterea activă și cea aparentă

$$\frac{P}{P_a} = \cos \varphi$$

se numește *factor de putere.*

Puterea reactivă P_r se măsoară în volțiamperi reactivi (VAr) respectiv kilovolțiamperi reactivi (kVAr) iar puterea aparentă în volțiamperi (VA) și kilovolțiamperi (kVA).

Necesitatea de a se introduce noțiunea de putere aparentă este determinată de considerațiunile ce urmează:

Orice mașină electrică sau aparat electric este caracterizat de:

1. Curentul nominal (I_n), adică de valoarea efectivă limitată a intensității curentului, care acționând continuu și îndelungat nu produce o încălzire a mașinii electrice care să depășească anumite limite admisibile.

2. Tensiunea nominală (U_n), adică valoarea efectivă limită a tensiunii, la care este calculată izolația mașinii electrice. Puterea nominală aparentă, pentru care a fost calculată mașina, se determină prin produsul dintre tensiunea nominală și intensitatea nominală a curentului, adică

$$P_n = U_n I_n.$$

Dacă receptorul de energie, alimentat de generatorul electric, lucrează cu $\cos \varphi = 1$, puterea activă maximă ce poate fi obținută dela generator va fi egală cu

$$P = U_n I_n \cos \varphi = U_n I_n = P_n.$$

Dacă receptorul alimentat de generator, va lucra cu $\cos \varphi_2 = 0{,}8$, puterea activă maximă ce se va putea obține dela generator va fi

$$P = U_n I_n \cos \varphi_2 = U_n I_n \times 0{,}8 = 0{,}8\, P_n.$$

Dacă receptorul de energie va lucra cu $\cos \varphi_3 = 0{,}1$, puterea activă maximă va fi egală cu

$$P = U_n I_n \cos \varphi_3 = U_n I_n \times 0{,}1 = 0{,}1\, P_n.$$

Astfel deci, nu poate fi indicată puterea activă nominală ce se poate obține dela un generator, deoarece această putere

depinde de condiţiile în care lucrează receptorul de energie, pe când puterea aparentă nominală caracterizează generatorul în raport cu încărcarea lui limită, independent de condiţiile în care lucrează receptorii alimentaţi de acest generator,

Atât conductorii generatorului cât şi conductorii reţelei electrice de transport şi distribuţie se dimensionează pentru întreg curentul I format din componenta activă şi componenta reactivă.

114. Energia activă şi reactivă

Dacă puterea activă a circuitului rămâne neschimbată, înmulţind-o cu timpul vom obţine energia consumată în circuit pentru acest interval de timp. Această energie poartă numele de energie activă şi se notează cu W; vom avea deci

$$W = P\,t = UI\cos\varphi.\,t.$$

Dacă puterea reactivă a circuitului se menţine neschimbată înmulţind-o cu timpul, obţinem valoarea energiei reactive W_r; deci

$$W_r = P_r\,t = UI\sin\varphi.\,t.$$

Energia reactivă este o mărime de calcul, care permite să se determine valoarea factorului de putere, deoarece avem

$$\frac{W}{\sqrt{W^2 + W_r^2}} = \frac{UI\cos\varphi.\,t}{\sqrt{(UI\cos\varphi.t)^2 + (UI\sin\varphi\,t)^2}} =$$

$$= \frac{UI\cos\varphi.\,t}{UIt\sqrt{\cos^2\varphi + \sin^2\varphi}} = \cos\varphi.$$

In cazul când puterile activă şi reactivă variază, timpul considerat poate fi împărţit în intervale de timp mai mici, în decursul cărora puterile să poată fi socotite constante; în această ipoteză, energia activă a circuitului în intervalul de timp considerat, poate fi reprezentată, respectiv prin suma

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \ldots = \Sigma\,W$$

$$W_r = W_{r1} + W_{r2} + W_{r3} + \ldots = \Sigma\,W_r$$

Scanned with OKEN Scanner

Raportul

$$\frac{\Sigma W}{\sqrt{(\Sigma W)^2 + (\Sigma W_r)^2}} = \cos \varphi_{med}$$

se numeşte *valoarea medie ponderată a factorului de putere.*

Deoarece W_a şi W_r a oricărui receptor de energie pot fi măsurate în mod direct cu ajutorul contorilor de energie, formula de mai sus are o aplicaţie largă în practică pentru aprecieri asupra cos φ a instalaţiunilor electrice.

Exemplu

Pentru bobina din exemplu pag. 242 să se calculeze următoarele mărimi:

1. Puterea maximă activă P_m,
2. Puterea activă P,
3. Puterea reactivă P_r,
4. Puterea aparentă P_a,
5. Energia activă W,
6. Energia reactivă W_r,

dacă se ştie că bobina a fost montată în reţea timp de 4 ore.

Rezolvare:

1. $P_m = 2\ U_a I = 2 \times 72 \times 12 = 1728$ W;
2. $P = UI \cos \varphi = 120 \times 12 \times 0{,}6 = 864$ W;
3. $P_r = UI \sin \varphi = 120 \times 12 \times 0{,}8 = 1152$ VA;
4. $P_a = UI = 120 \times 12 = 1440$ VA;
5. $W_a = Pt = 864 \times 4 = 3456$ Wh $= 3456$ kWh;
6. $W_r = P_r t = 1152 \times 4 = 4608$ VAh $= 4608$ kVAh.

115. Circuit cu rezistenţă ohmică şi inductivitate în derivaţie

Dacă circuitul format din două sau mai multe ramuri legate în paralel, fiecare ramură având rezistenţă ohmică şi inductivitate, este conectat la reţea, atunci fiecare ramură se găseşte la aceeaşi tensiune U. La mărimile diferite a impedanţelor Z_1, Z_2, etc., intensităţile de curent I_1, I_2, etc., la fel vor fi diferite, atât ca mărime cât şi ca fază şi intensitatea

totală a circuitului sau intensitatea în porțiunea neramificată I se determină după legea I a lui Kirchhoff

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 + \dots$$

ca sumă geometrică a intensităților curenților din fiecare ramură a circuitului derivat.

Fig. 203 reprezintă un circuit format din două ramuri legate în paralel și supuse tensiunii U. Intesitatea curentului în prima ramură

$$I_1 = \frac{U}{Z_1}$$

unde $Z_1 = R_1^2$ este impedanța primei ramuri.

Pentru ramura a doua

$$I_2 = \frac{U}{Z_2}$$

unde $Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$ este impedanța ramurii a doua.

Intensitățile curenților I_1 și I_2 vor fi decalate în urmă

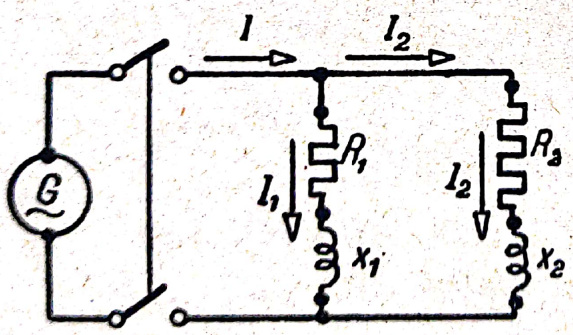


Fig. 203. Circuit derivat cu rezistență ohmică și inductivitate

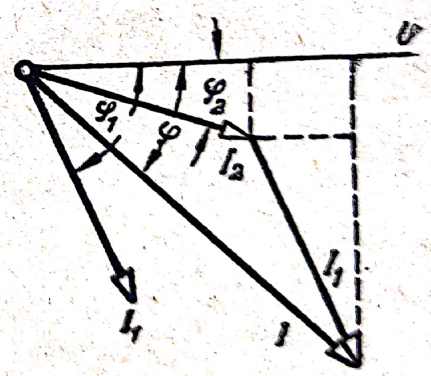


Fig. 204. Diagrama vectorială a circuitului derivat

față de tensiunea U, cu unghiul φ_1, intensitatea curentului I_1 și cu φ_2 intensitatea curentului I_2 *(fig. 204)*.

Unghiurile φ_1 și φ_2 se află din

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{X_1}{R_1};\quad \operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{X_2}{R_2}.$$

Intensitatea curentului din porțiunea neramificată

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2.$$

Facem adunarea geometrică după *fig. 204*:

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + 2I_1 I_2 \cos \varphi_{12}}.$$

unde $\varphi_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$ = unghiul de defazaj între intensitățile de curent I_1 și I_2.

Intensitatea curentului în porțiunea neramificată a circuitului este în întârziere de fază față de tensiune cu unghiul φ, a cărui tangentă se află din

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin \varphi_2}{I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2}.$$

Pentru a se putea afla intensitatea curentului în porțiunea neramificată a circuitului, mai ales în cazul unui număr mai mare de ramuri în derivație, este bine în acest scop să se descompună în două componente intensitatea curentului din fiecare ramură *(fig. 205)*.

Una din componentele intensității curentului se alege astfel încât să fie în fază cu tensiunea; această componentă se numește *componenta activă* sau *watată* (I_a). Cealaltă componentă a intensității curentului se ia cu un decalaj de 90° față de tensiune și se numește *componenta reactivă* sau *dewatată* (I_r).

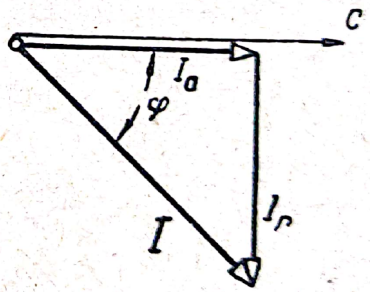


Fig. 205. Descompunerea intensității curentului în componentă watată și dewatată.

Din *fig. 205* rezultă că

$$I_a = I \cos \varphi, \text{ iar } I_r = I \sin \varphi.$$

Curentul principal în circuit I și componentele sale I_a și I_r sunt legate între ele de aceeași relație ca și laturile unui triunghiu dreptunghiu — triunghiul intensităților de curent (fig. 205);

$$I = \sqrt{I^2 \cos^2 \varphi + I^2 \sin^2 \varphi} = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}.$$

La construirea triunghiului intensităţilor de curent vectorul componentei watate a intensităţii curentului se aşază după direcţia vectorului care reprezintă tensiunea. Vectorul componentei dewatate a intensităţii de curent, în prezenţa inductanţei, se va aşeza la un unghiu de 90^0 în sensul mişcării acelor ceasornicului.

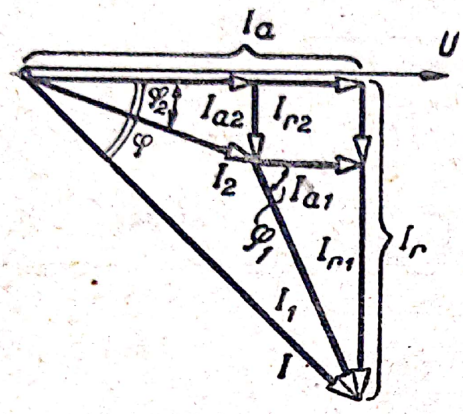


Fig. 206. Diagrama vectorială a circuitului ramificat.

Pentru schema reprezentată în fig. 203 se va putea scrie *(fig. 206)*.

$$I_{a1} = I_1 \cos \varphi_1; \quad I_{r1} = I_1 \sin \varphi_1;$$
$$I_{a2} = I_2 \cos \varphi_2; \quad I_{r2} = I_2 \sin \varphi_2.$$

Deoarece componentele wattate ale intensităţii curentului sunt în fază cu tensiunea, suma lor algebrică va fi egală cu componenta wattată a intensităţii curentului principal:

$$I_{a1} + I_{a2} = I_a.$$

De asemenea, deoarece componentele dewattate ale intensităţii curentului sunt decalate cu 90^0 faţă de tensiune, suma algebrică a acestor componente, care reprezintă intensităţile de curent în diferite ramuri, va fi egală cu componenta dewattată a intensităţii curentului principal.

Astfel, în cazul nostru *(fig. 203* şi *206)*

$$I_{r1} + I_{r2} = I_r',$$

iar curentul în porţiunea neramificată va fi

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}.$$

Unghiul de decalaj a intensităţii acestui curent faţă de tensiune se poate determina cu ajutorul tangentei lui:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_r}{I_a} = \frac{I \sin \varphi}{I \cos \varphi}.$$

Puterea activă a circuitului se determină ca suma puterilor active a celor două ramuri:

$$P = P_1 + P_2 = U I_1 \cos \varphi_1 + U I_2 \cos \varphi_2$$

Scanned with OKEN Scanner

sau direct din formula

$$P = UI \cos \varphi.$$

In mod analog se poate scrie pentru puterea reactivă a circuitului

$$P_r = P_{r1} + P_{r2} = UI_1 \sin \varphi_1 + UI_2 \sin \varphi_2 = UI \sin \varphi.$$

Puterea aparentă a circuitului P_a

$$P_a = \sqrt{P^2 + P_r^2} = UI$$

Exemplu

Un circuit cu două ramificaţii în paralel (fig. 203), într'una din care avem $R_1 = 3\,\Omega$ şi $X_1 = 2\,\Omega$, iar cealaltă $R_2 = 1\,\Omega$ şi $X_2 = 3\,\Omega$, este legat la o reţea care are tensiunea de 115 V.

Să se determine intensităţile de curent în cele două ramificaţii şi în partea neramificată a circuitului.

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + X_1^2}} = \frac{115}{\sqrt{3^2 + 2^2}} = 32\text{ A};$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{U}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = \frac{115}{\sqrt{1^2 + 3^2}} = 36{,}4\text{ A};$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{3{,}52}{3{,}6} = 0{,}833; \quad \sin \varphi_1 = \frac{X_1}{Z_1} = \frac{2}{3{,}6} = 0.555;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{1}{3{,}16} = 0{,}317; \quad \sin \varphi_2 = \frac{X_2}{Z_2} = \frac{3}{3{,}16} = 0{,}95.$$

Componentele intensităţii curentului în prima ramură:

$$I_{a1} = I_1 \cos \varphi_1 = 32 \times 0{,}883 = 28{,}6\text{ A};$$

$$I_{r1} = I_1 \sin \varphi_1 = 32 \times 0{,}555 = 17{,}7\text{ A}.$$

Componentele intensităţii curentului în ramura a doua:

$$I_{a2} = I_2 \cos \varphi_2 = 36{,}4 \times 0{,}317 = 11{,}5\text{ A};$$

$$I_{r2} = I \sin \varphi_2 = 36{,}4 \times 0{,}95 = 34{,}5\text{ A}.$$

Componentele intensității curentului în porțiunea neramificată a circuitului:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} = 28{,}6 + 11{,}5 \approx 40 \text{ A};$$
$$I_r = I_{r1} + I_{r2} = 17{,}7 + 34{,}5 \approx 52 \text{ A}.$$

Intensitatea curentului în porțiunea neramificată a circuitului:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} = \sqrt{40^2 + 52^2} = 63{,}5 \text{ A}.$$

116. Circuit de curent alternativ cu capacitate

Experiență: Fie *C (fig. 207)* un condensator cu o capacitate suficient de mare. Legăm mai întâi acest condensator la o tensiune continuă. Un ampermetru legat în serie cu condensatorul rămâne la zero, adică absență totală a unui curent. Dacă legăm același condensator la o tensiune egală însă alternativă, atunci observăm că ampermetrul arată *I* amperi.

Aceasta înseamnă că un condensator este o rezistență infinită pentru un curent continuu și opune o rezistență mică la un curent alternativ.

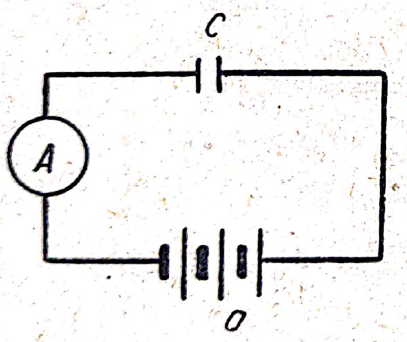
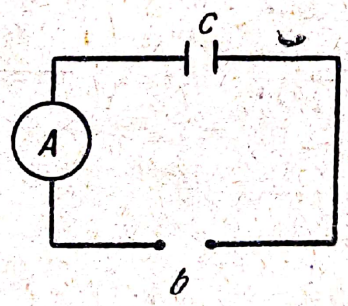


Fig. 207. Circuit cu capacitate



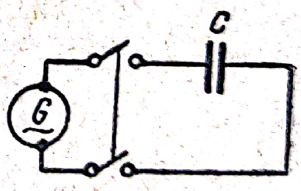


Fig. 208. Circuit cu capacitate

Dacă se aplică o tensiune alternativă la bornele unui circuit cuprinzând o capacitate *(fig. 208)*, în acest circuit va lua naștere un curent, determinat de mișcarea electricității datorită încărcării și descărcării condensatorului.

Să admitem că tensiunea generatorului este

$$u = U_m \sin \omega t.$$

In acest caz, intensitatea curentului în circuit este egală cu raportul între variaţia sarcinilor electrice ale condensatorului şi timpul în care a avut loc variaţia, adică:

$$i = \frac{Q_2 - Q_1}{t_2 - t_1}$$

unde am notat cu:

Q_1 = sarcina condensatorului la timpul t_1.
Q_2 = sarcina la timpul t_2,

cum: $Q_1 = C U_1$; $Q_2 = C U_2$

rezultă:

$$i = \frac{C (U_2 - U_1)}{t_2 - t_1}.$$

Intensitatea curentului este deci proporţională cu vitesa de variaţie a tensiunii la bornele condensatorului şi invers proporţională cu intervalul de timp în care se face această variaţie.

Se demonstrează că:

$$i = C \omega U_m \cos \omega t = C \omega U_m \sin (\omega t + \frac{\pi}{2}) =$$

$$= I_m \sin (\omega t + \frac{\pi}{2}).$$

Se vede din expresia obţinută că intensitatea curentului este în avans de fază faţă de tensiune cu $\frac{1}{4}$ perioadă şi că amplitudinea ei este

$$I_m = C \omega U_m.$$

Experienţă: Defazajul în cazul unei capacităţi se poate vedea prin montajul arătat în *fig. 196*, înlocuind însă bobina de inducţie printr'un condensator de capacitate destul de mare. Repetăm experienţa cu comutatorul S şi vom vedea că şi în cazul unui circuit cu capacitate avem defazaj între curent şi tensiune, cu deosebirea ca aci curentul avansează faţă de tensiune.

In *fig. 209* sunt reprezentate curbele u şi i, iar în *fig. 210* diagrama vectorială.

In decursul primului sfert de perioadă tensiunea este pozitivă şi creşte dela zero până la U_m; proporţional cu tensiunea creşte şi sarcina condensatorului ($Q = CU$).

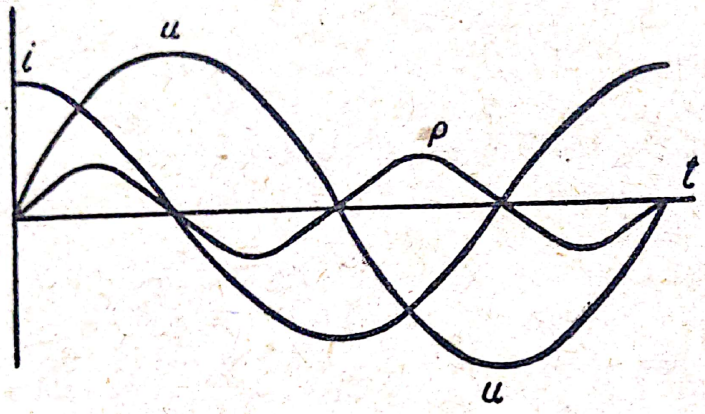


Fig. 209. Graficele tensiunii, intensităţii curentului şi puterii într'un circuit cu capacitate

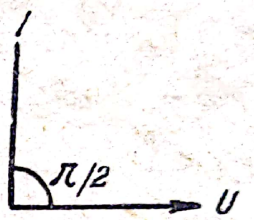


Fig. 210. Diagrama vectorială a circuitului cu capacitate

La început vitesa cu care creşte tensiunea este maximă, iar la sfârşitul primului sfert de perioadă această vitesă este nulă. Intensitatea curentului în circuit, proporţională cu vitesa, este pozitivă şi variază dela I_m până la zero.

In decursul celui de al doilea sfert al perioadei, tensiunea scade dela U_m până la zero, sarcina condensatorului micşorându-se proporţional cu tensiunea.

La începutul acestui sfert de perioadă, vitesa cu care scade tensiunea este nulă, atingând un maxim la sfârşitul sfertului de perioadă. Intensitatea curentului în circuit este negativă şi variază dela zero până la un maximum negativ.

In cursul celui de al treilea sfert de perioadă tensiunea îşi schimbă sensul, crescând dela zero până la maximum. Intensitatea curentului în circuit este negativă.

La începutul acestui sfert de perioadă, vitesa cu care creşte tensiunea este maximă, iar la sfârşit este nulă. Intensitatea curentului în circuit variază dela un maximum negativ până la zero.

In decursul celui de al patrulea sfert de perioadă, tensiunea este negativă şi scade dela valoarea maximă până la zero. Corespunzător vitesei de variaţie a tensiunii, intensita-

Scanned with OKEN Scanner

tea curentului în circuit variază dela zero până la maximum pozitiv.

Impărțind prin $\sqrt{2}$ partea dreaptă și stângă a expresiei $I_m = C\omega U_m$, vom obține

$$\frac{I_m}{\sqrt{2}} = \omega C \frac{U_m}{\sqrt{2}} \text{ sau } I = \omega CU = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U}{X_C}.$$

Mărimea

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

se numește *reactanță capacitivă.*

Reactanța capacitivă este invers proporțională frecvenței curentului f și capacității C. Ea este o mărime de calcul, care leagă intensitatea curentului cu capacitatea și tensiunea la bornele capacității.

Puterea instantanee a circuitului capacitiv este

$$p = ui = U_m \sin \omega t \times I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) =$$

$$= U_m I_m \sin \omega t \times \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\frac{U_m I_m}{2} \cos \frac{\pi}{2} - \frac{U_m I_m}{2} \cos\left(2\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = + \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t.$$

Curba puterii instantanee este arătată în *fig. 209.* Puterea instantanee variază cu o frecvență de două ori mai mare decât aceea a curentului, dela zero până la o valoare maximă egală cu $\frac{U_m I_m}{2}$.

In decursul primului și celui de al treilea sfert de perioadă, când tensiunea crește dela zero până la U_m, condensatorul se încarcă, între armaturile lui se creează un câmp electric și energia care se înmagazinează în acest câmp crește dela zero până la un maximum egal cu $W_m = \frac{CU_m^2}{2}$; energia este dată de generator, ceea ce corespunde unei puteri pozitive.

În decursul sfertului al doilea de perioadă și al celui al patrulea, tensiunea scade dela U_m până la zero, condensatorul se descarcă, câmpul electric dintre armaturile lui dispare, energia lui micșorându-se dela W_m până la zero; energia este restituită generatorului, ceea ce corespunde unei puteri negative.

Prin urmare, în decursul perioadei, energia $W_m = \frac{CU_m^2}{2}$ trece de două ori dela generator în circuit și este restituită de două ori dela circuit la generator. Astfel, energia consumată într'un circuit capacitiv în decursul unei perioade este egală cu zero.

Puterea reactivă este dată de formula:

$$P_r = U^2 \frac{1}{X} = U^2 \omega C = \frac{CU_m^2}{2} \omega = W_m$$

Exemplu

Un condensator având capacitatea $C = 40$ μ F este legat la o rețea cu tensiunea de $U = 240$ V și frecvența $f = 50$ Hz.

Să se determine mărimile: X, I, P_r și W_m;

$$X = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 50 \times 40 \times 10^{-6}} = \frac{10^6}{12\,500} = 80 \text{ Ω}$$

$$I = \frac{U}{X} = \frac{240}{80} = 3 \text{ A}$$

$$P_r = UI = 240 \times 3 = 720 \text{ VA},$$

$$W_m = \frac{1}{2} CU_m^2 = \frac{1}{2} 40 \times 10^{-6} \ (\sqrt{2} \cdot 240)^2 = 2{,}3 \text{ jouli}.$$

117. Circuit de curent alternativ conținând rezistență ohmică și capacitate legate în serie

Dacă în circuit, înafara capacității C, avem o rezistență ohmică R, legată în serie cu capacitatea (condesatorul), *fig. 211*, atunci tensiunea aplicată la bornele circuitului exterior este egală cu suma a două componente; componenta activă a tensiunii $U_a = IR$ la bornele rezistenței ohmice și tensiunea reactivă $U_r = I \frac{1}{\omega C}$ la bornele capacității; prima din compo-

Scanned with OKEN Scanner

nente se găsește în fază cu intensitatea curentului *(fig. 212)*, a doua având o întârziere de fază de 90^0 față de intensitatea curentului. Tensiunea rezultantă U, obținută prin adunarea geometrică a acestor componente, este defazată în urmă față de in-

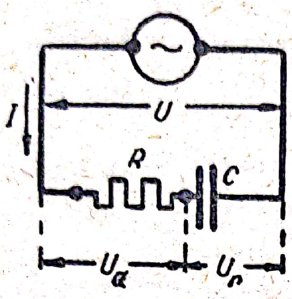


Fig. 211. Circuit cu rezistența ohmică R și capacitate C legate în serie

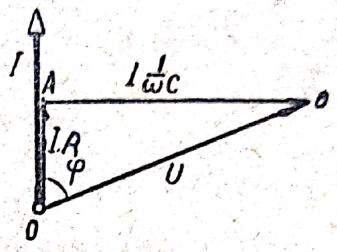


Fig. 212. Diagrama vectoriala a unui circuit conținând rezistență R și capacitate C

tensitatea curentului cu un unghiu oarecare φ, care se determină din unghiul tensiunilor OAB. Tensiunea totală a circuitului U, reprezentată prin ipotenuza triunghiului dreptunghiu, se găsește cu intensitatea curentului în raport

$$U^2 = I^2 R^2 + I^2 \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2$$

de unde:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

expresie analoagă cu aceea a circuitului cu inductanță și care de asemenea poartă denumirea de legea lui Ohm.

La fel ca și expresia $\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$, a circuitului cu inductivitate, expresia $\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}$ se numește rezistență aparentă sau impedanță și se notează tot cu litera Z, deci:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

și atunci legea lui Ohm pentru circuitul cu capacitate poate fi scrisă ca și pentru circuitul cu inductivitate

$$I = \frac{U}{Z}$$

Dacă laturile triunghiului tensiunilor *OAB (fig. 212)*, le împărţim cu *I*, se obţine un triunghiu asemenea lui *OAB*, triunghiul *Oab (fig. 213)* a cărui catete reprezintă rezistenţa ohmică şi reactanţa capacitivă, iar ipotenuza impedanţa.

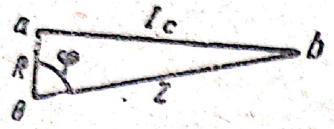


Fig. 213. Triunghiul impedanţei

Triunghiul impedanţei a două circuite având aceeaşi rezistenţă ohmică *R*, unul având inductivitate iar altul capacitate, însă de valori egale ($X_L = X_C$), vor fi simetrice, deoarece catetele lui X_L şi X_C sunt egale, însă de un sens contrar *(fig. 214)*.

Din triunghiul impedanţelor se pot scoate relaţiile ce determină unghiul φ:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{X_C}{R};\quad \cos\varphi = \frac{R}{Z};\quad \sin\varphi = \frac{X_C}{Z}$$

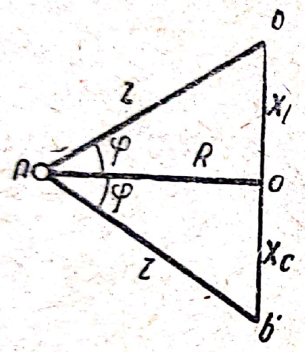


Fig. 214. Compararea triunghiurilor impedanţelor a circuitelor *R, L* şi *R, C*

Deoarece în circuitul cu capacitate, intensitatea curentului este în avans de fază faţă de tensiune, pe când în circuitul cu inductivitate intensitatea curentului este defazată în urmă faţă de tensiune, putem să spunem că în circuitul de curent alternativ reactanţa capacitivă are acţiune inversă acţiunii pe care o are reactanţa inductivă.

118. Circuit de curent alternativ conţinând rezistenţă ohmică, inductivitate şi capacitate legate în serie

Cazul general al unui circuit îl avem atunci când în circuit găsim legate în serie rezistenţa ohmică *R*, inductivitatea *L* şi capacitatea *C (fig. 215)*.

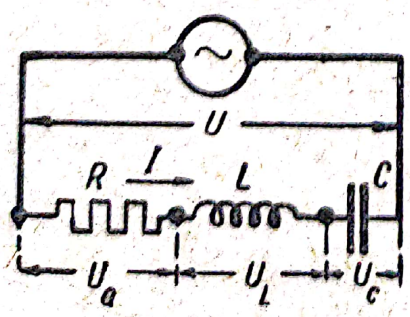


Fig. 215. Legarea în serie a lui *R, L* şi *C*

Tensiunea *U* aplicată unui astfel de circuit se formează din trei componente: tensiunea activă (ohmică) $U_a = IR$, în fază cu intensitatea curentului; tensiunea inductivă $U_L = I\omega L$ — în avans de fază cu 90° faţă de intensitatea curentului — şi tensiunea capacitivă

Scanned with OKEN Scanner

$U_C = I\frac{1}{\omega C}$, în întârziere de fază cu 90° față de intensitatea curentului *(fig. 216 și 217)*.

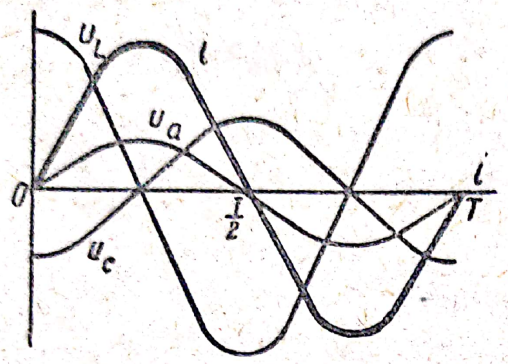


Fig. 216. Curbele variației intensității curentului și tensiunei în circuit cu R, L și C

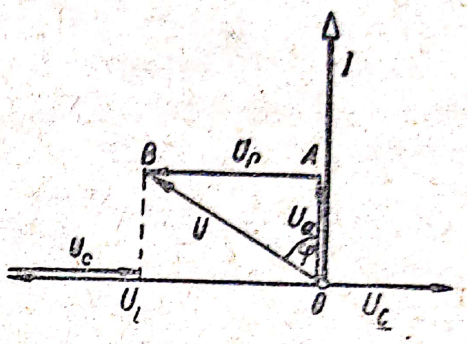


Fig. 217. Diagrama vectorială a circuitului cu R, L și C

Datorită faptului că tensiunile inductivă și capacitivă au faze de sens invers, adunarea geometrică a mărimilor este echivalentă cu scăderea mărimilor absolute corespunzătoare și, dacă tensiunea inductivă are valoarea absolută mai mare decât tensiunea capacitivă, atunci tensiunea reactivă rezultantă

$$U_r = I\omega L - I\frac{1}{C\omega} = I\left(\omega L - \frac{1}{C\omega}\right)$$

va fi în avans de fază față de intensitatea curentului cu 90°.

Diferența $\omega L - \frac{1}{C\omega}$ se numește reactanța totală și se notează cu litera X.

Reactanța inductivă $X_L = \omega L$ și reactanța capacitivă $X_C = \frac{1}{C\omega}$ sunt cazuri particulare ale reactanței totale

$$X = \omega L - \frac{1}{C\omega}$$

ce se obține din această expresie generală atunci când fie că lipsește inductanța ($L = 0$) fie că armăturile condensatorului sunt în scurt circuit, ceea ce este același lucru a spune că circuitul ar fi lipsit de capacitate și $\frac{1}{C\omega} = 0$.

Dacă reactanța inductivă este mai mică decât reactanța capacitivă, atunci reactanța totală capătă valori negative. După semnul ce-l are reactanta putem să ne dăm seama dacă rezultanta însumării reactanțelor este inductivă sau capacitivă și atunci putem să știm dacă intensitatea curentului în circuit este în întârziere de fază față de tensiune, sau se găsește în avans de fază față de tensiune.

Fig. 217 reprezintă diagrama vectorială a unui astfel de circuit, unde tensiunea U este ipotenuza triunghiului dreptunghiu OAB și deci

$$U^2 = U_a^2 + U_r^2 = I^2 R^2 + I^2 X^2 = I^2 (R^2 + X^2)$$

de unde

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L + \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

Această expresie reprezintă forma cea mai generală a legii lui Ohm pentru circuitul de curent alternativ. Expresia de mai sus poate fi pusă sub o formă mai simplă dacă se introduce notația pentru rezistența aparentă a circuitului

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{C\omega}\right)^2}.$$

Legea lui Ohm ia forma cunoscută

$$I = \frac{U}{Z}.$$

Impărțind valorile laturilor triunghiului tensiunilor OAB *(fig. 212)*, cu I intensitatea curentului, obținem ca și înainte triunghiul impedanței din care deducem relațiile cunoscute nouă pentru cazurile particulare, (*fig. 213*),

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}; \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z}; \quad \sin \varphi = \frac{X}{Z}.$$

In cazul când reactanța este negativă, adică atunci când reactanța capacitivă este mai mare decât cea inductivă, aceste relații dau unghiu de defazaj φ negativ.

Scanned with OKEN Scanner

Prin urmare, unghiul de defazaj pozitiv corespunde cazului când tensiunea aplicată circuitului este în avans de fază faţă de intensitatea curentului (preponderenţa o are reactanţa inductivă). Vom avea unghiu de defazaj negativ atunci când tensiunea este în întârziere de fază faţă de intensitatea curentului, adică atunci când reactanţa capacitivă este mai mare decât cea inductivă.

119. Circuit oscilant

Să cercetăm fenomenele care au loc în circuitul reprezentat în *fig. 218*, când condensatorul, încărcat până la tensiunea U_{Cm}, este închis printr'o bobină inductivă, având o rezistenţă ohmică neglijabilă.

La închiderea întrerupătorului, condensatorul începe să se descarce şi în circuit ia naştere un curent. Acest curent alternativ creează un câmp magnetic şi prin urmare şi o f. e. m. de autoinducţie, care în orice moment este egală şi opusă tensiunii dintre armaturile condensatorului, tensiune care în acelaşi timp este şi tensiunea la bornele bobinei inductive (u_L). De aceea vom avea $u_L = -e_L$.

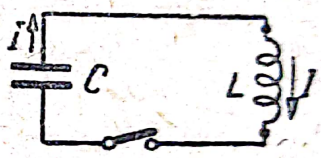


Fig. 218. Circuit oscilant

La începutul descărcării condensatorului, intensitatea curentului în circuit este mai mică şi tensiunea condesatorului variază în mod lent *(fig. 219)*. Odată cu creşterea intensităţii

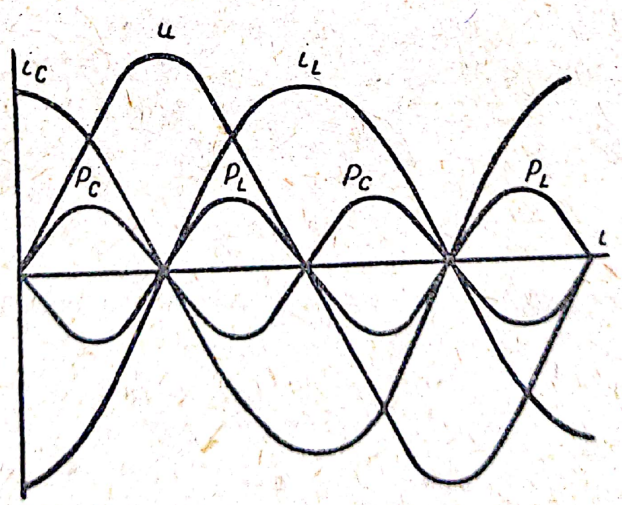


Fig. 219. Graficele tensiunii curentului şi a puterii într'un circuit oscilant

curentului, vitesa cu care variază tensiunea crește, atingând valoarea maximă în momentul când tensiunea scade până la zero, moment corespunzător intensității de curent maxime în circuit.

Scăderea tensiunii condensatorului până la zero nu poate provoca încetarea curentului, datorită existenței inductivității.

Curentul în circuit va fi menținut de f. e. m. de autoinducție, care în timpul reducerii curentului este pozitivă. Existența unui curent de același sens în circuitul condensatorului descărcat înseamnă un transport de electroni dela armatura care a fost înainte negativă, la armatura ce a fost pozitivă. Datorită acestui fapt, prima armatură va începe să se încarce pozitiv, iar a doua negativ. Dacă n'ar fi existat rezistența ohmică, acest fenomen ar fi continuat, până când condensatorul s'ar fi încărcat până la o tensiune egală în valoare cu tensiunea inițială, dar de sens opus. După aceea, condensatorul va începe să se descarce în sens opus, să se încarce din nou, fenomenul repetându-se necontenit în mod periodic.

In momentul inițial tensiunea condensatorului are valoarea maximă U_m, iar în câmpul electric al condensatorului este concentrată energia $W_{Cm} = \frac{CU_m^2}{2}$. Odată cu micșorarea tensiunii condensatorului și apariția curentului, energia câmpului electric scade, trecând în energia câmpului magnetic.

In momentul în care tensiunea condensatorului este egală cu zero, este nulă și energia câmpului electric; deoarece în acest moment intensitatea curentului și fluxul magnetic au valori maxime, în câmpul magnetic va fi concentrată energia $W_m = \frac{LI_m^2}{2}$.

Datorită faptului că nu există rezistență ohmică în circuit, energia acesteia nu se risipește și deci energia maximă care se înmagazinează în câmpul electric, va fi egală cu energia maximă ce se acumulează în câmpul magnetic, adică

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

In circuitul considerat, energia câmpului electric trece în energia câmpului magnetic și invers, adică în circuit au loc

oscilații neamortisate de energie; pentru acest motiv circuitul a primit numele de *circuit oscilant.*

Pentru a determina frecvența intensității curentului în circuitul (f_o), să scriem expresia amplitudinii curentului

$$I_m = U_m \omega_o C = U_m 2\pi f_o C$$

Introducând această expresie în formula de mai sus:

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} = \frac{LU_m^2 4\pi^2 f_o^2 C^2}{2}$$

de unde

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Mărimea f_o se numește *frecvența proprie* a circuitului oscilant.

Amplitudinea curentului în circuit este

$$I_m = U_m 2\pi f_o C = U_m 2\pi \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} C = U_m \frac{1}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

Mărimea $\sqrt{\frac{L}{C}}$ are dimensiunile unei rezistențe și se numește rezistența de undă a circuitului oscilant.

Dacă circuitul are o rezistență ohmică R, care nu depășește dublul valorii rezistenței de undă a circuitului oscilant, o parte din energie la fiecare oscilație se transformă în căldură și, datorită acestui fapt, amplitudinea curentului și a tensiunii scad la fiecare semiperioadă. Astfel are loc o amortisare a oscilațiilor.

120. Rezonanța tensiunilor

Dacă circuitul din *fig. 220* compus din inductivitate L și capacitate C și o oarecare rezistență ohmică R se leagă la bornele unui generator a cărui frecvență f este egală cu frecvența proprie a circuitului f_o, atunci în circuit va avea loc rezonanța tensiunilor, adică intensitatea curentului din circuit are valoarea cea mai mare pentru tensiunea dată și depinde numai de rezistența ohmică a circuitului.

Scanned with OKEN Scanner

Frecvența proprie a circuitului f_o, fiind egală cu frecvența curentului f, putem scrie

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{\omega}{2\pi}; \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

sau

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}; \text{ de unde } L\omega = \frac{1}{C\omega}$$

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0.$$

In cazul rezonanței tensiunilor, reactanța circuitului este nulă :

$$X = L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0.$$

Prin urmare impedanța

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + 0} = \sqrt{R^2} = R.$$

Rezistența circuitului are valoarea cea mai mică, ca în curent continuu, iar intensitatea curentului :

$$I = \frac{U}{R}$$

ia în acest caz valoarea cea mai mare și se găsește în fază cu tensiunea.

Aici, ca și la circuitul oscilant, energia acumulată de câmpul magnetic al circuitului la o porțiune a perioadei se transformă, în porțiunea următoare, în energia câmpului electric. Se produc astfel oscilații întreținute de energie. Prezența rezistenței ohmice în circuit nu schimbă caracterul oscilațiilor, întru cât energia electrică consumată prin efectul Joule se compensează neîntrerupt de generator.

In cazul circuitului oscilant, tensiunea dela condensator este egalată de forța electromotoare de autoinducție și atunci tensiunea la bornele rezistenței ohmice este egală cu tensiunea generatorului.

Deoarece tensiunile în diferitele porțiuni ale circuitului, montate în serie, sunt proporționale cu rezistențele acestor

porțiuni de circuit, rezultă că, în cazul când rezistența ohmică este neglijabilă în comparație cu reactanțele inductivă și capacitivă, tensiunile corespunzătoare reactanțelor pot fi mult mai mari decât tensiunea generatorului. Aceasta poate avea consecințe periculoase în tehnica curenților tari. Astfel se produce defectarea izolației la diferite elemente ale instalației electrice respective. De exemplu dacă rezistența $R = 100\ \Omega$ și $X_L = X_C = 1000\ \Omega$, iar tensiunea generatorului $U = 1{,}1$ kV, vom avea

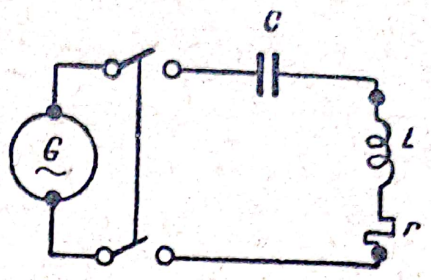


Fig. 220. Circuit cu inductivitate, capacitate și rezistență ohmică în serie

$$U_L = U_C = U_a \frac{X_L}{R} = 1{,}1\ \text{kV} \frac{1000\ \Omega}{100\ \Omega} = 11\ \text{kV}$$

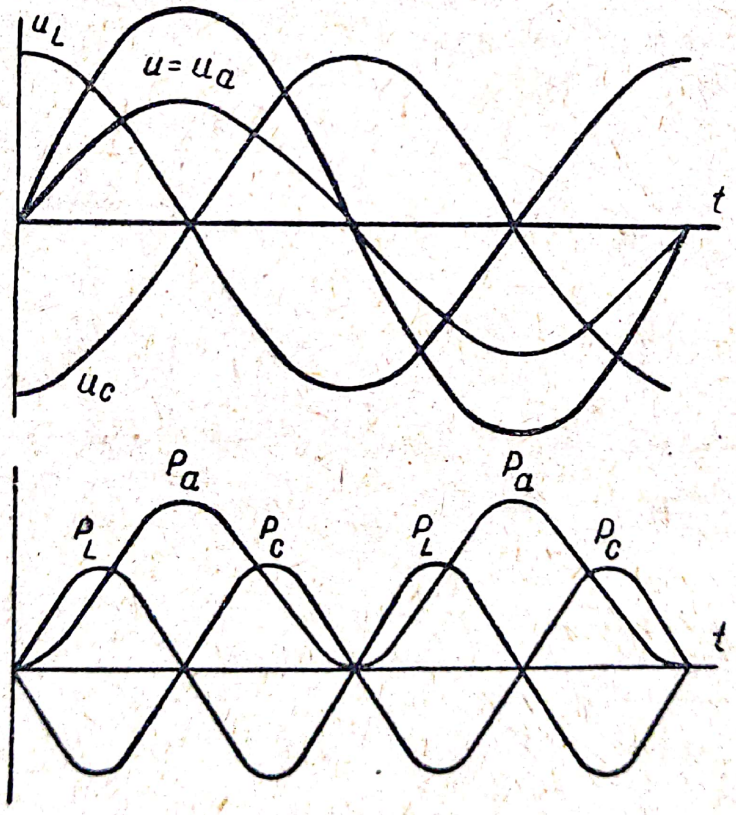


Fig. 221. Graficele tensiunii, intensității curentului și puterilor la rezonanța tensiunilor

In *fig. 222* este reprezentată diagrama vectorială în cazul rezonanței tensiunilor.

Scanned with OKEN Scanner

Din cele spuse mai înainte și din *fig. 221* și *222* rezultă că, datorită compensării reciproce a tensiunii condensatorului și inducției ($U_C = U_L$), circuitul se comportă față de generator ca și când ar avea numai rezistența ohmică, adică, curentul în circuit este în fază cu tensiunea generatorului, iar puterea furnisată de generator este egală cu puterea consumată în rezistența ohmică. Tensiunea inductanței este defazată înaintea intensității curentului cu 90°. pe când tensiunea capacității este în urma aceleiași intensități de curent tot cu 90°.

121. Rezonanța intensității de curent. Circuit ramificat cu rezistență ohmică, inductanță și capacitate

Dacă un circuit oscilant se montează între bornele unui generator de curent alternativ, astfel încât inductanța și capacitatea să formeze două ramuri montate în paralel *(fig. 223)* în cazul când frecvența generatorului va fi egală cu frecvența proprie a circuitului oscilant ($f = f_0$), fenomenul de oscilație

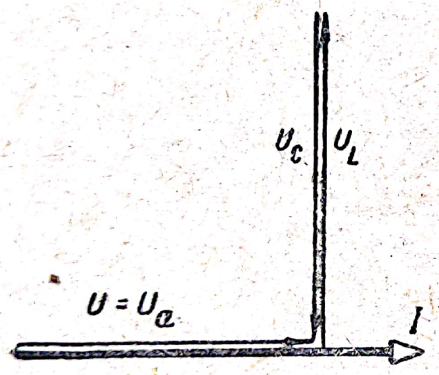


Fig. 222. Diagrama vectorială în cazul rezonanței tensiunilor

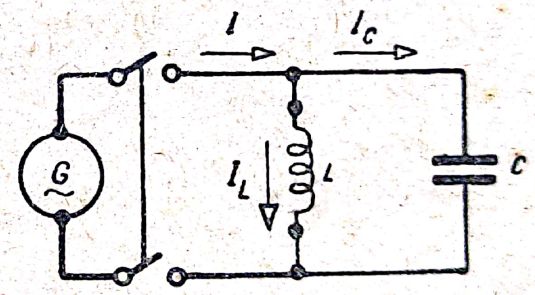


Fig. 223. Circuit oscilant

a energiei în circuit se menține fără nici o modificare, intensitatea curentului își va menține valoarea inițială, atât în ramura cu inductanță, cât și în cea cu capacitate, iar curentul generatorului va fi nul. Acest caz este cunoscut sub denumirea de *rezonanța intensităților.*

Intensitatea curentului în ramura cu inductanță este

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{\omega L}$$

și este defazat în urma tensiunii cu 90°.

Intensitatea curentului în condensator este

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}}$$

și este defazat înaintea tensiunii cu 90^0.

Deoarece $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, vom avea $I_L = I_C$.

In baza primei legi a lui Kirchhoff, vom avea în nod *(fig. 223)*:

$$\bar{I} = \bar{I}_L + \bar{I}_C,$$

dar

$$\bar{I}_C = -\bar{I}_L$$

și de aceea

$$\bar{I} = \bar{I}_L + \bar{I}_C = I_L - I_C = 0,$$

adică curentul generatorului este egal cu zero.

In *fig. 224* sunt date curbele intensității curentului, a tensiunii și puterii la rezonanța intensităților (în cazul $R = 0$)

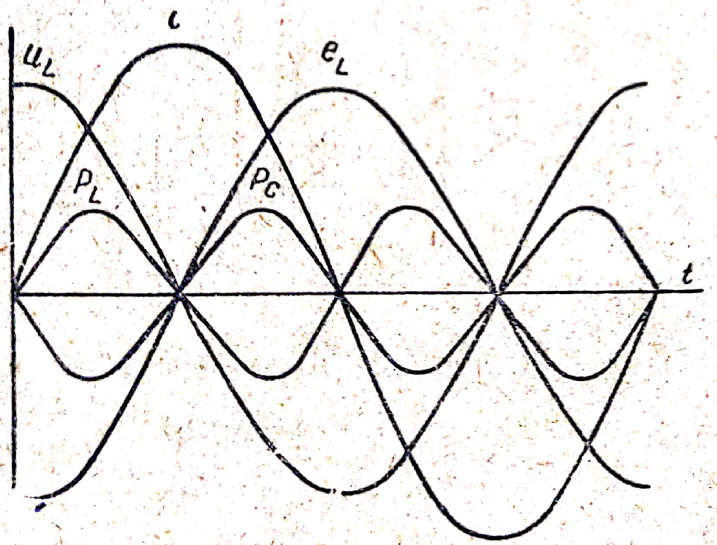


Fig. 224. Graficele intensității curentului, tensiunii și puterii la rezonanța intensităților (în cazul $R = 0$)

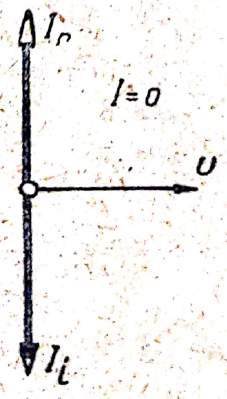


Fig. 225. Diagrama vectorială în cazul rezonanței intensităților (pentru $R = 0$)

fig. 225 diagrama vectorială pentru rezonanța intensităților în cazul $R = 0$

In cazul când, bobina montată în paralel cu condensatorul va avea şi o rezistenţă ohmică R *(fig. 226)*, rezonanţa intensităţilor va avea loc dacă intensitatea curentului în condensator ($I_C = I_2$) va fi egală cu componenţa devattată a intensităţii curentului din bobină, $I_L = I_{r1} = I_1 \sin \varphi$, adică cu condiţia $I_L = I_C$.

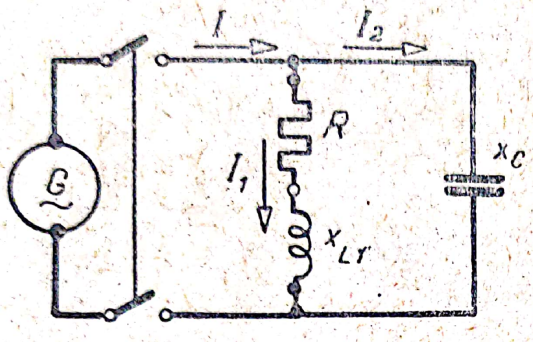


Fig. 226. Circuit ramificat cu inductanţă, capacitate şi rezistenţă ohmică

In acest caz, puterea maximă $P_{r1} = UI_L$, cheltuită în câmpul magnetic, este egală cu puterea maximă cheltuită în câmpul electric $P_{r2} = UI_C$; prin urmare, vor fi egale între ele şi valorile maxime ale energiei în câmpurile electrice şi magnetice ale circuitului. Ca şi în cazul circuitului oscilant, pe care l am analizat mai înainte, energia care se înmagazinează în câmpul magnetic, în decursul unui sfert de perioadă, se obţine în întregime dela condensator, iar in decursul sfertului de perioadă următor, energia care se acumulează în câmpul electric al condensatorului, se obţine în întregime din câmpul magnetic. Generatorul procură circuitului numai energia care se consumă în rezistenţa ohmică. Deoarece componentele dewattate în ramurile paralele I_L şi I_C sunt legate între ele şi defazate cu 180°, rezultă că aceste componente se compensează reciproc şi generatorul trimite în circuit numai curent wattat în măsura determinată de pierderile de energie în rezistenţa ohmică:

$$I = I_a = I_1 \cos \varphi_1$$

unde $I_1 = \frac{U}{X}$ este intensitatea curentului în bobină.

In *fig. 227* sunt date curbele intensităţilor de curent ale tensiunilor şi ale puterii iar în *fig. 228* diagrama vectorială pentru acest caz de rezonanţă a intensităţilor.

Dacă circuitul este compus din două ramuri paralele una având rezistenţa ohmică şi inductanţa, iar cealaltă capacitatea *(fig. 226)*, intensitatea curentului în prima ramură va fi

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + X_1^2}}$$

In cazul când, bobina montată în paralel cu condensatorul va avea şi o rezistenţă ohmică R *(fig. 226)*, rezonanţa intensităţilor va avea loc dacă intensitatea curentului în condensator ($I_C = I_2$) va fi egală cu componenţa devattată a intensităţii curentului din bobină, $I_L = I_{r1} = I_1 \sin \varphi$, adică cu condiţia $I_L = I_C$.

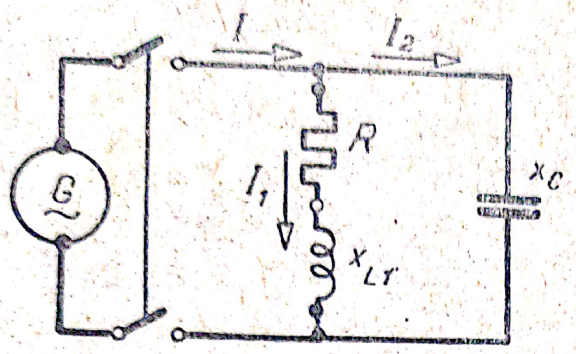


Fig. 226. Circuit ramificat cu inductanţă, capacitate şi rezistenţă ohmică

In acest caz, puterea maximă $P_{r1} = UI_L$, cheltuită în câmpul magnetic, este egală cu puterea maximă cheltuită în câmpul electric $P_{r2} = UI_C$; prin urmare, vor fi egale între ele şi valorile maxime ale energiei în câmpurile electrice şi magnetice ale circuitului. Ca şi în cazul circuitului oscilant, pe care l am analizat mai înainte, energia care se înmagazinează în câmpul magnetic, în decursul unui sfert de perioadă, se obţine în întregime dela condensator, iar in decursul sfertului de perioadă următor, energia care se acumulează în câmpul electric al condensatorului, se obţine în întregime din câmpul magnetic. Generatorul procură circuitului numai energia care se consumă în rezistenţa ohmică. Deoarece componentele dewattate în ramurile paralele I_L şi I_C sunt legate între ele şi defazate cu 180°, rezultă că aceste componente se compensează reciproc şi generatorul trimite în circuit numai curent wattat în măsura determinată de pierderile de energie în rezistenţa ohmică:

$$I = I_a = I_1 \cos \varphi_1$$

unde $I_1 = \frac{U}{X}$ este intensitatea curentului în bobină.

In *fig. 227* sunt date curbele intensităţilor de curent ale tensiunilor şi ale puterii iar în *fig. 228* diagrama vectorială pentru acest caz de rezonanţă a intensităţilor.

Dacă circuitul este compus din două ramuri paralele una având rezistenţa ohmică şi inductanţa, iar cealaltă capacitatea *(fig. 226)*, intensitatea curentului în prima ramură va fi

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + X_1^2}}$$

Acest curent *(fig. 228)* este defazat în urma tensiunii cu unghiul φ_1, a cărui tangentă este

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{X_1}{R_1}$$

Intensitatea curentului în prima ramură *(fig. 228)* are o componentă wattată

$$I_{a1} = I_1 \cos \varphi_1$$

și una dewattată

$$I_{r1} = I_1 \sin \varphi_1.$$

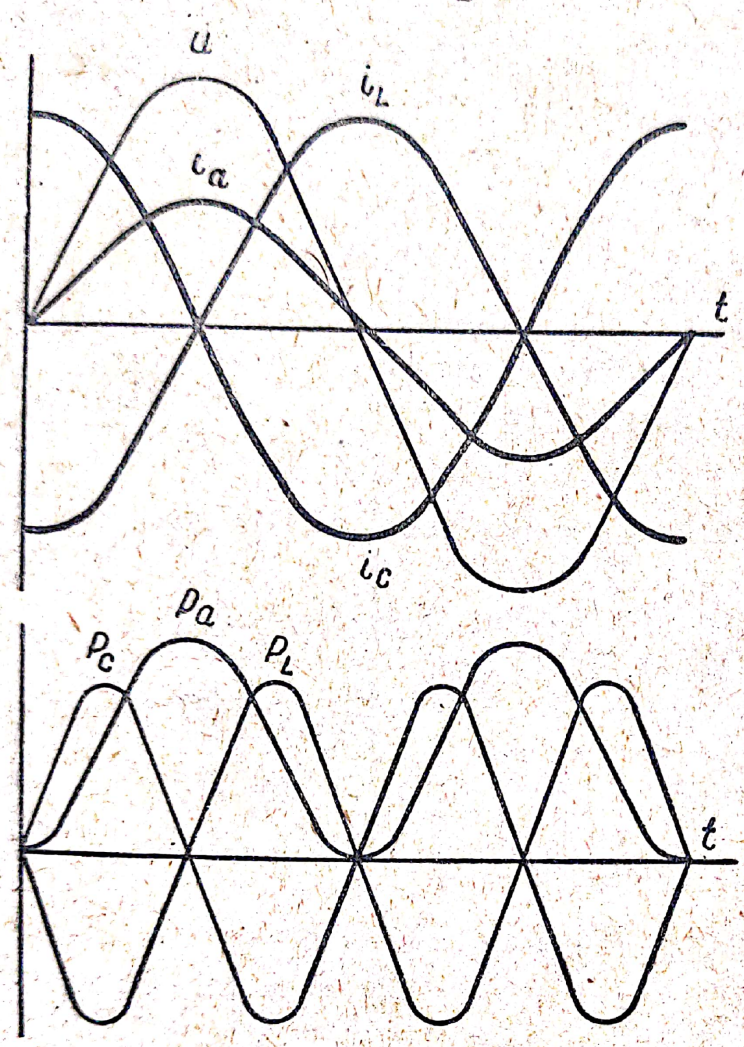


Fig. 227. Graficele intensităților de curent, a tensiunii și a puterii pentru circuitul ramificat din *fig. 226* în cazul $I_L = I_C$.

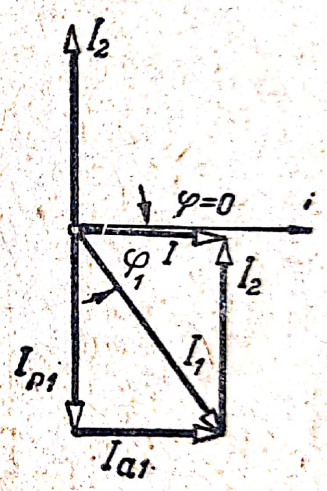


Fig. 228. Diagrama vectorială pentru circuitul din *fig. 226* în cazul $I_L = I_C$

Intensitatea curentului în ramura a doua este

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = U \omega C = I_{r2}$$

Curentul I_2 este defazat înaintea tensiunii cu unghiul $\varphi_2 = 90^0$ și este un curent dewattat.

Intensitatea curentului în partea neramificată a acestui circuit este

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$$

unde $I_a = I_{a1}$, iar $I_r = I_{r1} - I_{r2}$.

Defazajul intensității acestui curent I față de tensiunea U se poate determina cu ajutorul tangentei unghiului respectiv

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_{r1} - I_{r2}}{I_{a1}} = \frac{I_L - I_C}{I_{a1}}$$

unde

$$I_{r1} = I_L, \text{ iar } I_{r2} = I_C$$

Intensitatea curentului în partea neramificată a circuitului poate sau să fie decalată în urma tensiunii circuitului *(fig. 229)*, dacă $I_L > I_C$, sau să fie defazată înainte *(fig. 230)*

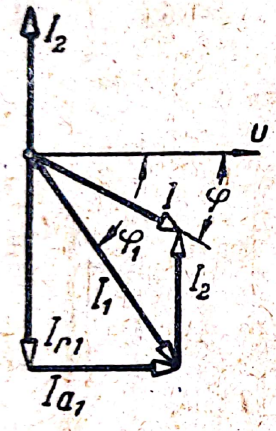


Fig. 229. Diagrama vectorială pentru circuitul ramificat din *fig. 226* în cazul $I_L < I_C$

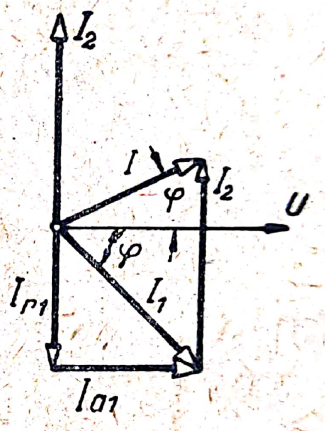


Fig. 230. Diagrama vectorială pentru circuitul ramificat din *fig. 226*, în cazul $I_C < I_L$

dacă $I_L < I_C$ sau, în sfârșit, să fie în fază cu tensiunea *(fig. 228)*, dacă $I_L = I_C$.

Acest ultim caz a fost cercetat la începutul paragrafului.

In cazul $I_L > I_C$, energia care se înmagazinează în câmpul magnetic este mai mare decât energia care se înmagazinează în câmpul electric Energia care se înmagazinează în câmpul magnetic crește dela zero până la maximum, pe de o parte în contul energiei primite din câmpul electric, iar pe de altă parte în contul energiei primite dela generator care, pe lângă aceasta mai acopere și consumul de energie în rezistență ohmică. Energia care se liberează când câmpul magnetic se micșorează dela maximum până la zero se transmite în parte câmpului electric, iar în parte este restituită generatorului.

Față de generator, circuitul se comportă ca și când ar avea numai rezistență ohmică și inductanță.

In cazul când $I_C > I_L$, energia care se înmagazinează în câmpul electric este mai mare decât aceea care se înmagazinează în câmpul magnetic. Aici, o parte din energie, necesară pentru creșterea energiei câmpului electric, este dată de câmpul magnetic, iar restul este furnisat de generator care, pe lângă aceasta, acopere și pierderile de energie în rezistență ohmică. Energia care se liberează la micșorarea câmpului electric se transmite în parte câmpului magnetic iar în parte este restituită generatorului. Față de generator circuitul se comportă ca și cum ar avea numai rezistență ohmică și capacitate.

122. Factorul de putere și însemnătatea lui

In paragrafele precedente s'a făcut observația că generatoarele, transformatoarele, cablurile, etc., se fabrică pentru valori nominale ale intensităților de curent și tensiunilor.

Puterea unui generator poate fi folosită la maximum când acesta lucrează sub tensiunea nominală, cu intensitatea nominală și cu $\cos \varphi = 1$, deoarece în acest caz el poate da cea mai mare putere activă, egală cu puterea lui aparentă.

$$P = U_n I_n \cos \varphi = U_n I_n = P_{max}$$

Dacă generatorul va funcționa cu tensiunea și intensitatea nominală, dar cu un factor de putere variabil ($\cos \varphi$) a cărui valoare depinde de receptorul de energie, atunci puterea activă a generatorului, după cum rezultă din expresia

$$P = U_n I_n \cos \varphi$$

va fi proporțională cu $\cos \varphi$.

Astfel micșorarea lui $\cos \varphi$ va avea ca urmare o utilizare mai proastă a puterii generatorului (stației).

Pe de altă parte, dacă receptorul de energie, consumând o putere activă constantă, funcționează sub o tensiune neschimbată, dar cu diferiți $\cos \varphi$, intensitatea curentului absorbit de aceast receptor variază invers proporțional cu $\cos \varphi$. Spre exemplu, intensitatea curentului crește, dacă $\cos \varphi$ se micșorează.

Scanned with OKEN Scanner

Intr'adevăr, notând cu I_0 intensitatea curentului pentru $\cos \varphi = 1$ și cu I_1 intensitatea pentru $\cos \varphi < 1$, se poate scrie

$$P = UI_0 \cos \varphi_0 = UI_1 \cos \varphi_1 = \text{const},$$

de unde rezultă că

$$I_0 \cos \varphi_0 = I_1 \cos \varphi_1$$

sau

$$I_1 = I_0 \frac{\cos \varphi_0}{\cos \varphi_1} = I_0 \frac{1}{\cos \varphi_1}$$

Trecerea curentului prin înfășurările generatorului și prin conductorii care leagă generatorul cu receptorul de energie, are ca urmare pierderi de putere pentru încălzirea acestora ($p = I^2 R$). In cazul considerat de noi, când receptorul funcționează consumând o putere activă constantă sub diferite valori ale lui $\cos \varphi$, odată cu micșorarea factorului de putere, pierderile de putere în generator și în conductorii de legătură cresc.

Pierderile de putere în cazul $\varphi = 0$ pot fi exprimate prin

$$p_0 = I_0^2 R$$

iar pentru valori oarecari ale lui φ, diferite de zero, se va putea scrie

$$p_1 = I_1^2 R$$

sau, introducând expresia dată pentru I_1 în formulă $I_1 = I_0 \frac{1}{\cos \varphi_1}$ vom obține:

$$p_1 = I_0^2 \frac{1}{\cos^2 \varphi_1} R = p_0 \frac{1}{\cos^2 \varphi_1}$$

de unde rezultă că, puterea activă a receptorului fiind presupusă constantă, odată cu micșorarea factorului său de putere $\cos \varphi$, pierderile de putere prin efect Joule-Lenz cresc invers proporțional cu pătratul factorului de putere.

Deoarece un factor de putere mic, pe de o parte nu permite să fie utilizată din plin puterea instalată a stației iar pe de altă parte provoacă creșterea pierderilor de energie, se urmărește de obiceiu ca factorul de putere $\cos \varphi$ al instalației să fie stabilit cât mai aproape de unitate.

In motoarele cele mai răspândite — motoarele asincrone —

transformarea energiei electrice în energie mecanică se face prin intermediul câmpului magnetic, pentru formarea căruia se cheltuește o energie egală cu $W = \frac{LI_m^2}{2}$. Odată cu creșterea intensității curentului, crește și fluxul magnetic al motorului. Energia electrică, care se cheltuește pentru formarea câmpului magnetic, trebue transportată dela uzină la motor. Când curentul scade, fluxul magnetic se micșorează și energia, acumulată în câmpul magnetic, este restituită uzinei. Acest schimb de energie reactivă între uzină și consumator, în condițiile unei puteri active constante, determină valoarea lui cos φ. Îmbunătățirea factorului de putere al instalației înseamnă micșorarea energiei reactive, care circulă între uzină și consumator (în cazul $P = \text{const}$). Această îmbunătățire se poate realiza, dacă energia, care se cheltuește pentru formarea câmpului magnetic, se ia parțial sau total dela un condesator montat și paralel la bornele motorului, iar nu dela uzină.

Condensatorul acumulează în câmpul său electric energia $W = \frac{CU_m^2}{2}$, când tensiunea la bornele lui crește dela zero până la U_m, și restitue această energie, când tensiunea scade dela U_m până la zero.

In cazul când motorul este legat în derivație cu un condensator, el absoarbe în primul și în al treilea sfert de perioadă, energia $\frac{LI_m^2}{2}$, iar în al doilea și în al patrulea sfert de perioadă o restitue, pe când condensatorul, invers, în primul și în al treilea sfert de perioadă, restitue energia ce a acumulat $\frac{CU_m^2}{2}$, iar în al doilea și în al patrulea sfert o reprimește. Prin urmare alimentarea motorului cu energie reactivă se poate face parțial sau total dela condesator. Astfel în regimul permanent de funcționare uzina este descărcată (parțial sau total) de puterea reactivă (sau de curentul dewattat).

Exemple

1. Caracteristicele nominale ale unui generator de curent alternativ sunt:

$$U_n = 1000 \text{ V}; \quad I_n = 100 \text{ A}; \quad P_a = 100\,000 \text{ VA} = 100 \text{ kVA}.$$

Cât de mare este puterea activă care se poate obţine dela acest generator pentru $\cos \varphi_1 = 0{,}8$ şi $\cos \varphi_2 = 0{,}2$?

$$P_1 = U_n I_n \cos \varphi_1 = 1000 \times 100 \times 0{,}8 = 80\,000 = 80 \text{ kW};$$

$$P_2 = U_n I_n \cos \varphi_2 = 1000 \times 100 \times 0{,}2 = 20\,000 = 20 \text{ kW}.$$

2. Un receptor de energie funcţionează sub o tensiune $U = 1000$ V şi consumă o putere de $P = 50$ kW.

Să se determine pierderile de putere în conductorii care leagă receptorul de generator în cazul când $\cos \varphi_1 = 0{,}8$ şi $\cos \varphi_2 = 0{,}2$ dacă rezistenţa conductorilor este $R = 0{,}1$ Ω.

Intensitatea curentului în receptor fiind

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

vom avea:

$$I_1 = \frac{P}{U \cos \varphi_1} = \frac{50\,000}{1000 \times 0{,}8} = 62{,}5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{P}{U \cos \varphi_2} = \frac{50\,000}{1000 \times 0{,}2} = 250 \text{ A}.$$

Pierderile de putere în conductorii de legătură vor fi:

$$p_1 = I_1^2 R = (62{,}5)^2 \times 0{,}1 = 391 \text{ W}$$

$$p_2 = I_2^2 R \ (250)^2 \times 0{,}1 = 6250 \text{ W}.$$

Exprimând aceste pierderi în procente din puterea receptorului, vom obţine:

$$\frac{391 \times 100}{50\,000} = 0{,}78\ \%$$

respectiv $\dfrac{6250 \times 100}{50\,000} = 12{,}5\ \%$

3. Un electromotor consumă $P = 10$ kW, funcţionând sub o tensiune de $U = 240$ V, cu $\cos \varphi = 0{,}6$ şi frecvenţa de $f = 50$ Hz.

Să se determine capacitatea condensatorului care trebue să fie montat în paralel cu electromotorul, pentru ca $\cos \varphi$ al instalaţiei să fie majorat până la 0,9.

Intensitatea curentului pe care-l consumă motorul la un $\cos \varphi_1 = 0{,}6$ este

$$I_1 = \frac{P}{U \times \cos \varphi_1} = \frac{10\,000}{240 \times 0{,}6} = 69 \text{ A}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Dintr'o tabelă de funcţii trigonometrice determinăm unghiul $\varphi_1 = 53°10'$ şi sin $\varphi_1 = 0{,}8$.

Componenta dewattată a curentului motorului este

$$I_{r1} = I_1 \sin \varphi_1 = 69 \times 0{,}8 = 55{,}5 \text{ A.}$$

Dacă se montează condensatorul în paralel cu motorul vom avea $\cos \varphi_2 = 0{,}9$, ceea ce corespunde unui unghiu $\varphi_2 = 26°50'$ şi la sin $\varphi_2 = 0{,}436$. Intensitatea curentului absorbit dela reţea este

$$I_2 = \frac{P}{U \cos \varphi_2} = \frac{10\,000}{240 \times 0{,}9} = 46{,}2 \text{ A.}$$

In acest caz, componenta dewattată a intensităţii curentului va fi:

$$I_{r2} = I \sin \varphi_2 = 46{,}2 \times 0{,}436 = 20{,}2 \text{ A.}$$

Componenta dewattată a intensităţii curentului se reduce prin montarea condensatorului cu

$$I_C = I_{r1} - I_{r2} = 55{,}5 - 20{,}2 = 35{,}3 \text{ A.}$$

Reactanţa capacitivă a condensatorului trebue să fie:

$$X_C = \frac{U}{I_C} = \frac{240}{35{,}3} = 6{,}8 \ \Omega$$

Deoarece

$$X_C = \frac{I}{\omega C}, \text{ vom avea}$$

$$C = \frac{I}{X_C \ \omega} = \frac{1}{X_C \, 2\pi f} = \frac{1}{6{,}8 \times 2 \times 3{,}14 \times 50} = 0{,}000460 \text{ F} = 460 \ \mu \text{ F.}$$

Astfel se vede că trebue să se monteze în paralel cu electromotorul un condensator având capacitatea de $C = 450 \ \mu$ F.

CAP. XIV. CURENT TRIFAZIC

123. Producerea curentului trifazic

Se numeşte *sistem trifazic* o instalaţie constituită din trei circuite electrice de curent alternativ cu aceeaşi frecvenţă dar cu un defazaj de $\frac{1}{3}$ perioadă între cele 3 forţe electromotoare.

Dacă amplitudinile f. e. m. sunt egale, sistemul este denumit *simetric*.

Fiecare circuit al unui sistem trifazic se numeşte pe scurt *fază*.

In *fig. 231* este arătată schematic construcția celui mai simplu generator de curent trifazic.

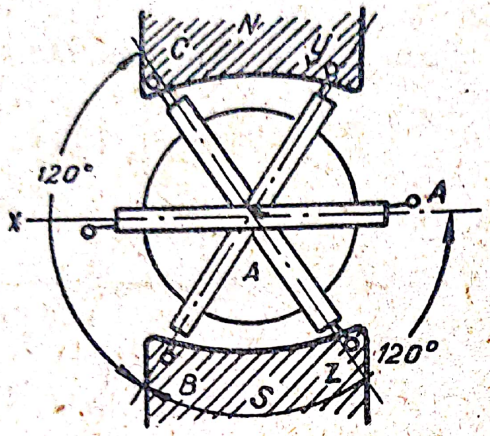


Fig. 231. Schema unui generator de curent trifazic

Intre polii *NS* ai electromagnetului este așezat un cilindru de oțel *A*, pe suprafața căruia sunt fixate trei înfășurări (bobine), decalate în spațiu una față de alta, pe periferia cilindrului, cu câte un unghiu de $\frac{2}{3}\pi$ (120^0). Inducția magnetică pe suprafața cilindrului este normală pe această suprafață și variază în lungul circumferenței acestuia după legea sinusului.

Dacă rotorul se învârtește cu o vitesă constantă, în bobine se vor induce f. e. m. de aceeași frecvență și amplitudine, dar având diferențe de faze de $\frac{1}{3}$ perioade.

Luând ca origine a timpurilor momentul în care f. e. m. a primei faze e_A trece prin valoarea zero, se poate exprima această f. e. m. prin ecuația

$$e_A = E_m \sin \omega t.$$

Forța electromotoare a celei de a doua faze a generatorului, fiind decalată în urma celei de a doua cu $\frac{1}{3}$ perioadă vom avea

$$e_B = E_m \sin \left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right)$$

Forța electromotoare a fazei a treia a generatorului, fiind decalată în urma celei de a doua cu $\frac{1}{3}$ perioadă (sau decalată înaintea primei faze cu $\frac{1}{3}$ perioadă), putem scrie:

$$e_C = E_m \sin \left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right).$$

In *fig. 232* și *233* sunt date curbele acestor f. e. m. și diagrama lor vectorială.

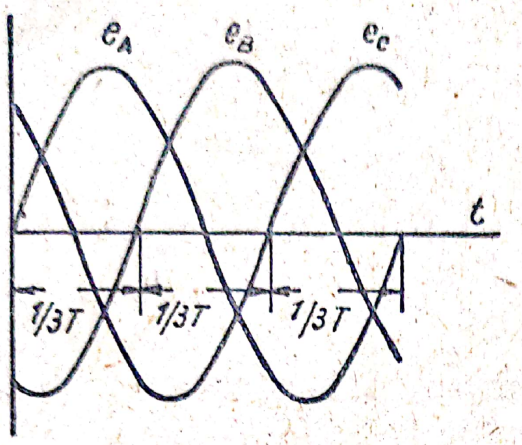


Fig. 232. Graficul f. e. m. ale unui generator trifazic

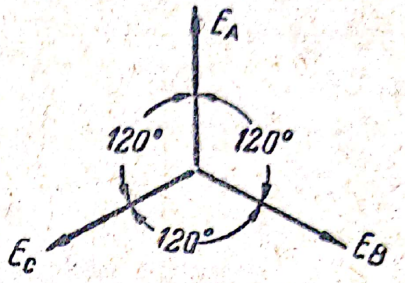


Fig. 233. Diagrama vectorială a f. e. m. ale unui generator trifazic

Să numim, în mod convențional, bornele *A B C* ale înfășurărilor — *începuturi de fază*, iar bornele *X Y Z* — *sfârșituri de fază*.

Să convenim mai departe de a socoti ca sens pozitiv al f. e. m. în înfășurarea generatorului sensul dela sfârșitul fazei spre începutul ei, admițând în felul acesta că potențialul la începutul fiecărei faze este mai ridicat decât potențialul la sfârșitul ei, diferența între cele două potențiale fiind egală cu f. e. m.

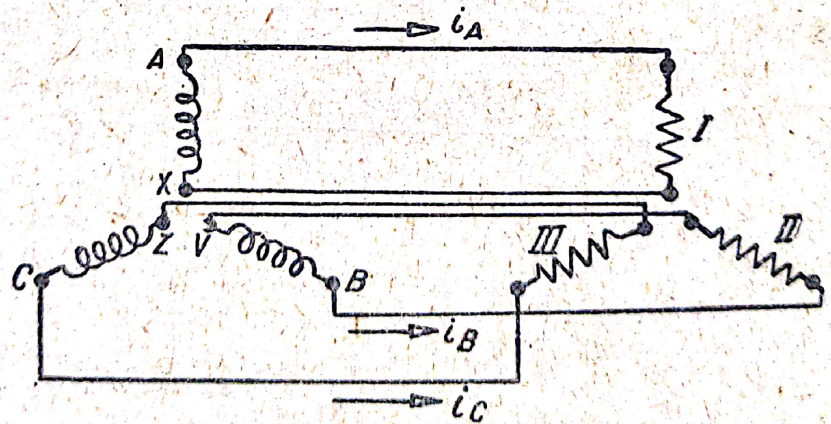


Fig. 234. Sistem trifazic cu înfășurări independente

Fiecare din înfășurările generatorului trifazic reprezintă o sursă independentă de energie electrică și circuitul ei se poate închide pe un receptor de energie propriu *(fig. 234)*. In acest caz, se obține un sistem trifazic cu trei faze independente,

sistem care cere pentru transmiterea energiei şase conductori. Acest sistem nu prezintă un interes practic, deoarece înfăşurările unui generator trifazic se pot lega în stea sau în triunghiu, făcându-se astfel economie de conductori (nu mai sunt necesari decât 3 conductori).

Combinarea sistemului trifazic şi a generatorului trifazic (anul 1889) se datoreşte inventatorului rus — inginerul *M. O. Dolivo — Dobrovolschi* (1862 — 1919).

124. Legarea înfăşurărilor generatorului în stea

La legarea înfăşurărilor generatorului în stea, extremităţile *X Y Z* ale înfăşurărilor se leagă într'un punct, care se chiamă *punct neutru* (*fig. 235*).

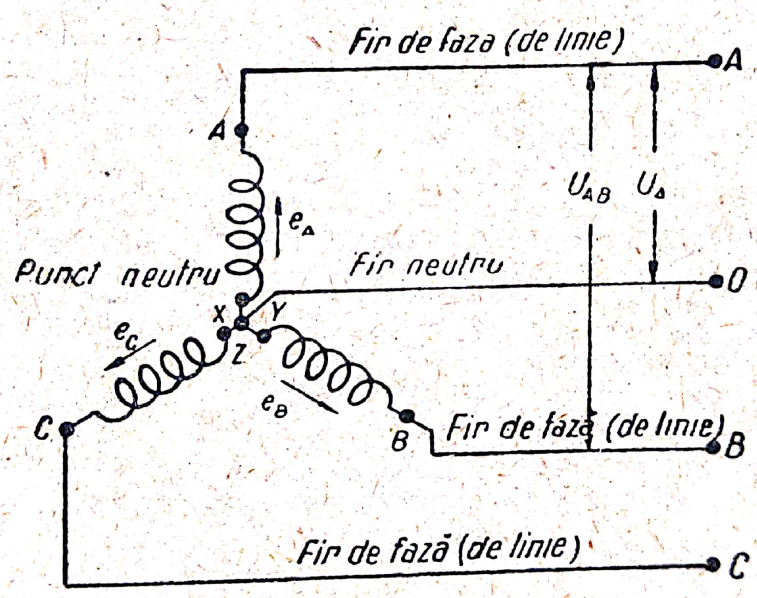


Fig. 235. Legarea înfăşurărilor generatorului în stea

Generatorul se uneşte cu receptorul prin patru conductori (fire). Trei din aceste fire şi anume firele legate de începuturile înfăşurărilor (*A B C*) se numesc *fire „de fază"*. Conductorul, legat de punctul neutru, se numeşte *fir neutru*.

Tensiunile între începuturile şi extremităţile fazelor sau, ceea ce este tot una, tensiunile între fiecare din firele de fază şi firul neutru, se numesc *tensiuni de fază* şi se notează cu U_A, U_B (în general U_f). Neglijând căderea de tensiune în înfăşurările generatorului, tensiunile de fază pot fi considerate ca egale f. e. m. corespunzătoare, induse în înfăşurările generatorului.

Scanned with OKEN Scanner

Tensiunile între începuturile a două înfăşurări sau, ceea ce este tot una, între firele de fază, se numesc *tensiuni de linie* şi se notează prin U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} (în general U_l), ordinea indicilor arătând sensul pozitiv al tensiunii.

Să stabilim relaţia dintre tensiunile de linie şi tensiunile de fază, în cazul când înfăşurările generatorului sunt legate în stea.

Deoarece extremitatea primei faze (X) nu este egală cu începutul fazei a doua, ci cu extremitatea ei (Y), rezultă că valoarea instantanee a tensiunii de linie între firele exterioare A şi B nu va fi egală cu suma, ci cu diferenţa tensiunilor de fază corespunzătoare, adică:

$$U_{AB} = U_A - U_B;$$

în mod analog, valorile instantanee ale celorlalte două tensiuni de linie vor fi:

$$U_{BC} = U_B - U_C \text{ şi } U_{CA} = U_C - U_A$$

In diagrama vectorială din *fig. 236* sunt daţi cei trei vectori ai tensiunilor de fază U_A, U_B, U_C. Pentru a se obţine vectorul tensiunii de linie U_{AB} (tensiunea stelată), trebue să adunăm vectorul de fază U_A cu inversul vectorului tensiunii de fază U_B sau, ceea ce este tot una, trebue să scădem din vectorul tensiunii U_A vectorul U_B.

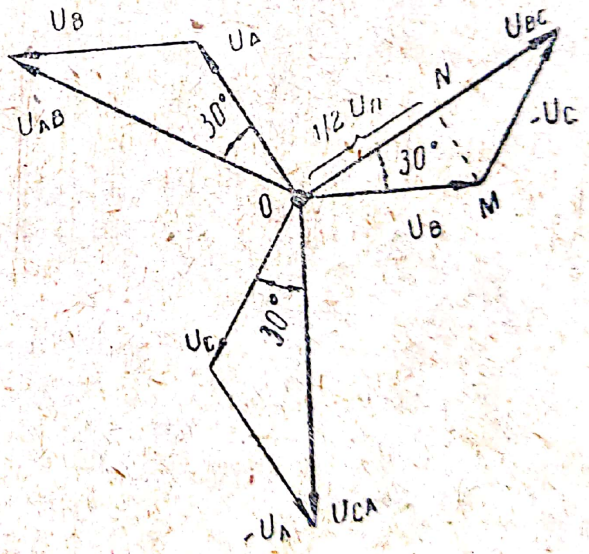


Fig. 236. Diagrama vectorială a tensiunilor la un generator cu înfăşurările legate în stea

Vectorul tensiunii de linie U_{BC} se obţine în mod analog ca diferenţa vectorilor tensiunilor U_B şi U_C, iar vectorul tensiunii de linie U_{CA} — ca diferenţa vectorilor U_C şi U_A, adică putem scrie:

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_A - \bar{U}_B;\ \bar{U}_{BC} = \bar{U}_B - \bar{U}_C \text{ şi } \bar{U}_{CA} = \bar{U}_C - \bar{U}_A$$

Coborînd o perpendiculară din extremitatea unui vector de fază oarecare, de exemplu din extremitatea vectorului U_B, pe vectorul tensiunii de linie U_{BC}, vom obține un triunghiu dreptunghiu ONM, din care rezultă că:

$$\frac{1}{2} U_l = U_f \cos 30^0 = U_f \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

de unde

$$U_l = \sqrt{3}\, U_f .$$

Din diagrama vectorială *(fig. 236)* și din ultima formulă rezultă că valoarea efectivă a tensiunii de linie este de $\sqrt{3}$ ori mai mare decât valoarea efectivă a tensiunii de fază și că tensiunea de linie U_{AB} este defazată înainte cu 30° față de tensiunea de fază U_A; același defazaj există între tensiunea de linie U_{BC} și tensiunea de fază U_B, precum și între tensiunea U_{CA} și tensiunea U_C.

Tensiunile de linie succesive sunt defazate una față de alta de același unghiu (120°) ca și tensiunile de fază succesive. Steaua vectorilor tensiunilor de linie este rotită înainte (în avans) față de steaua vectorilor de fază cu un unghiu de 30°.

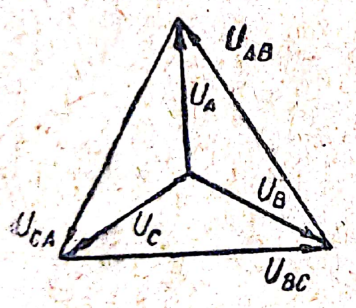


Fig. 237. Diagrama vectorială a tensiunilor la un generator cu înfășurările legate în stea

Deoarece vectorii tensiunilor de linie se determină ca diferențe ale vectorilor de fază, unind extremitățile vectorilor de fază, vectorii ce formează o stea, vom obține triunghiul vectorilor tensiunilor de linie *(fig. 237)*.

Trebue să ținem seamă de faptul că, relațiile căpătate între tensiunile de linie și cele de fază, au loc numai în cazul unui sistem simetric de tensiuni.

Exemplu

Să se determine tensiunea de linie a unui generator, dacă tensiunea lui de fază este 127 V.

$$U_l = \sqrt{3}\, U_f = 1{,}73\, U_f = 1{,}73 \times 127 = 220 \text{ V}.$$

Dacă tensiunea de fază ar fi fost 220 V, tensiunea de linie ar fi

$$U_l = \sqrt{3}\, U_f = 1{,}73 \times 220 = 380 \text{ V}.$$

Scanned with OKEN Scanner

125. Legarea înfășurărilor unui generator în triunghiu

La legarea înfășurărilor unui generator trifazic în triunghiu *(fig. 238)*, extremitatea primei înfășurări *X* se leagă cu începutul înfășurării a doua *B*, extremitatea celei de a doua înfășurări *Y* se leagă cu începutul înfășurării a treia *C*, iar extremitatea celei de a treia înfășurări *Z* — cu începutul primei înfășurări *A*.

Legătura cu receptorii de energie se face prin trei fire exterioare care se leagă de începuturile fazelor *A*, *B* și *C*.

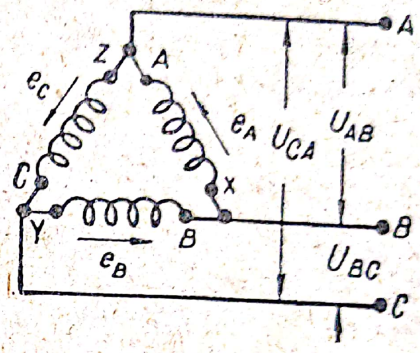


Fig. 233. Legarea înfășurărilor unui generator în triunghiu

La legătura în triunghiu, cele trei faze ale generatorului formează un circuit închis având o rezistență foarte mică. Evident că o astfel de legătură este posibilă numai în cazul în care suma f. e. m., care acționează în acest circuit, este egală cu zero. In caz contrariu, chiar în lipsa oricărei sarcini, în circuitul înfășurărilor poate lua naștere un curent cu o intensitate destul de mare care să provoace încălzirea generatorului peste limitele admise.

Dacă f. e. m. celor trei înfășurări ale generatorului sunt sinusoidale, defazate cu $^1/_3$ perioadă și au amplitudini egale, adică dacă aceste f. e. m. reprezintă un sistem trifazic simetric, suma lor, în orice moment, va fi egală cu zero.

Este ușor să ne convingem de aceasta adunând valorile instantanee ale celor trei f. e. m.

$$e_A + e_B + e_C = E_m \sin \omega t + E_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) +$$

$$+ E_m \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) =$$

$$= E_m \left(\sin \omega t - \frac{1}{2} \sin \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t - \frac{1}{2} \sin \omega t - \right.$$

$$\left. - \frac{3}{2} \cos \omega t\right) = 0.$$

Acelaşi rezultat se poate obţine adunând vectorii acestor f. e. m. In *fig. 239* se dau vectorii celer trei f. e. m. Adunând $\bar{E}_A$ cu $\bar{E}_B$, vom obţine un vector, egal în valoare şi opus ca sens vectorului $\bar{E}_C$, adică

$$\bar{E}_A + \bar{E}_B = -\bar{E}_C$$

de unde rezultă că suma vectorilor celor trei f. e. m. va fi egală cu zero:

$$\bar{E}_A + \bar{E}_B + \bar{E}_C = -\bar{E}_C + \bar{E}_C = 0$$

O legare greşită în triunghiu a înfăşurărilor generatorului este foarte periculoasă. In *fig. 240* este arătată una din schemele greşite de legătură ce sunt posibile. In această schemă

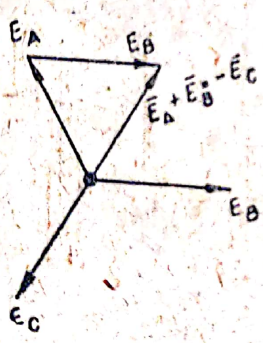


Fig. 239. Diagrama vectorială a f. e. m. la un generator, având înfăşurările legate în triunghiu

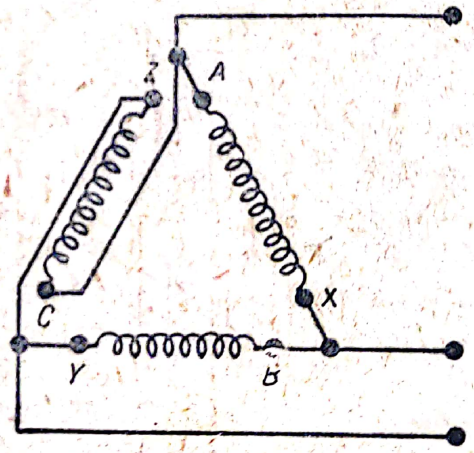


Fig. 240. Schema greşită de legătură în triunghiu a înfăşurărilor unui generator

extremitatea primei faze X este legată cu începutul fazei a doua B, extremitatea celei a doua faze Y nu este legată cu începutul fazei a treia C, ci cu extremitatea ei Z, iar începutul fazei a treia C este legat cu începutul primei faze A, datorită căruia fapt f. e. m. $\bar{E}_C$ nu se adaugă la suma celorlalte două f. e. m., ci se scade din această sumă, f. e. m. rezultantă poate fi determinată cu ajutorul diagramei vectoriale din *fig. 241*, în care este efectuată adunarea vectorilor $\bar{E}_A$, $\bar{E}_B$ — $\bar{E}_C$.

Suma acestor trei vectori, după cum se vede din diagramă este egală cu dublul vectorului $\bar{E}_C$, adică

$$\bar{E}_A + \bar{E}_B + (-\bar{E}_C) = -2\bar{E}_C$$

Astfel datorită acestui mod greşit de legătură, suma f. e. m. ale circuitului închis format din înfăşurările generatorului este egală în valoare absolută cu dublul f. e. m. de fază ceea ce, în cazul unei rezistenţe mici a circuitului înfăşurărilor generatorului, este echivalent cu un scurt-circuit.

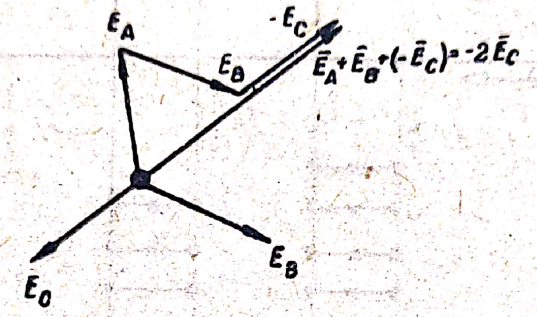


Fig. 241. Diagrama vectorială a f. e. m. ale unui generator, legate după schema indicată în *fig. 240*

126. Legarea receptorilor în stea

Receptorii de energie, ca şi înfăşurările generatorului se pot lega în stea, sistemul trifazic obţinut putând fi cu patru fire sau cu trei fire.

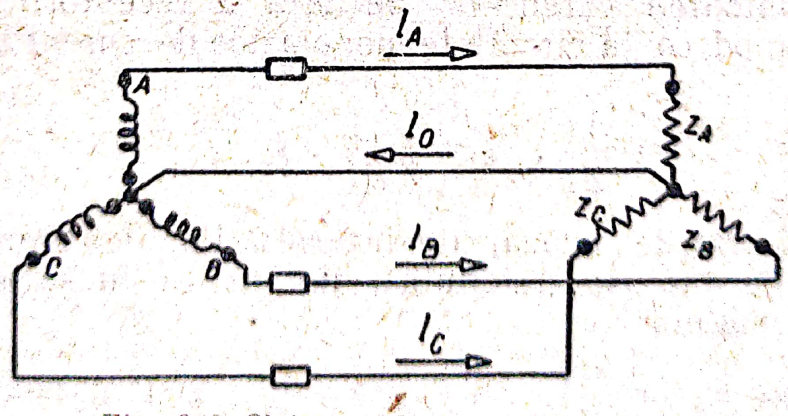


Fig. 242. Sistem trifazic cu patru fire

In sistemul trifazic cu patru fire, receptorii de energie se leagă între firul neutru şi fiecare din firele de fază *(fig. 242 şi 243)*.

In acest fel de legătură, condiţiile de funcţionare ale receptorilor de energie sunt la fel ca şi în sistemul monofazic, deoarece, datorită firului neutru, tensiunile în diferitele faze ale receptorilor sunt egale cu tensiunile în fazele corespunzătoare ale generatorului.

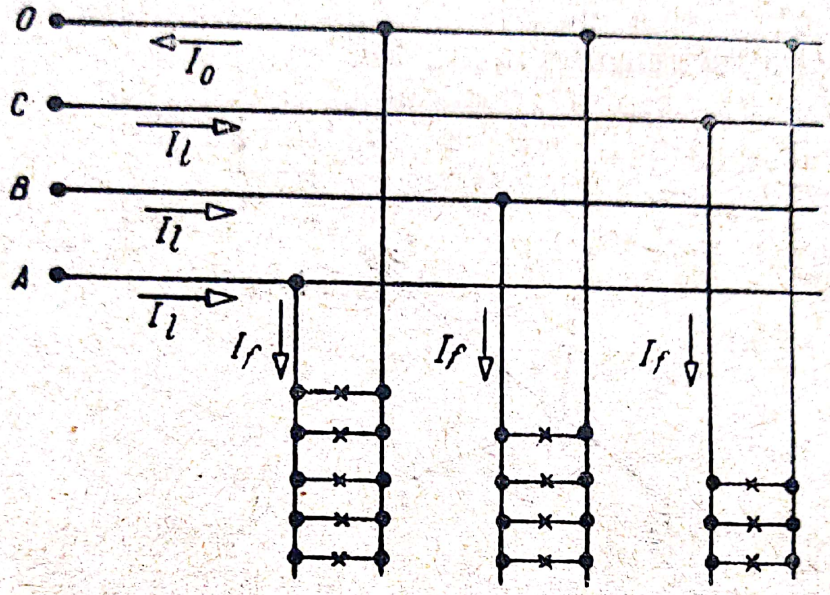


Fig. 243. Schema de legătură a lămpilor într'un circuit trifazic cu patru fire

După cum se vede din *fig. 242* şi *243*, intensităţile curentului în firele exterioare sunt egale cu întensităţile curentului din fazele corespunzătoare ale receptorilor şi a generatorului, adică $I_l = I_f$.

Determinarea curenţilor de fază a receptorilor se face în acelaşi mod ca la circuitele monofazice de curent alternativ, adică

$$I_A = \frac{A_A}{Z_A}, \quad I_B = \frac{U_B}{Z_B}, \quad I_C = \frac{U_C}{Z_C}$$

Unghiurile de defazaj ale intensităţilor de curent, faţă de tensiunile de fază se determină, fie din cosinusurile lor, cu ajutorul formulelor

$$\cos \varphi_A = \frac{R_A}{Z_A}, \quad \cos \varphi_B = \frac{R_B}{Z_B}, \quad \cos \varphi_C = \frac{R_C}{Z_C}$$

fie din tangentele lor, în baza formulelor

$$\operatorname{tg} \varphi_A = \frac{X_A}{R_A}, \quad \operatorname{tg} \varphi_B = \frac{X_B}{R_B}, \quad \operatorname{tg} \varphi_C = \frac{X_C}{R_C}$$

Valoarea instantanee a intensității curentului în firul neutru este egală, în baza primei legi a lui Kirchhoff, cu suma valorilor instantanee ale intensităților curenților de fază, adică

$$i_0 = i_A + i_B + i_C$$

Valoarea efectivă a intensității curentului in firul neutru se poate determina adunând geometric vectorii intensităților curenților de fază, adică

$$I_0 = I_A + I_B + I_C$$

Exemplu

Tensiunea de fază a unui generator este $U = 125$ V, rezistențele fazelor receptorului sunt

$$Z_A = Z_B = R_A = R_B = 12{,}5,\ Z_C = R_C = 25 \text{ ohmi.}$$

Intensitățile curenților de fază vor fi:

$$I_A = I_B = \frac{U_f}{R_A} = \frac{125 \text{ V}}{12{,}5} = 10 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{U}{R_C} = \frac{125}{25} = 5 \text{ A}$$

In *fig. 244* se arată vectorii tensiunilor de fază și al curenților de fază și este efectuată însumarea curenților de fază. Ca rezultat al acestei adunări se obține intensitatea curentului în firul neutru $I_0 = 5$ A, defazat în urma tensiunii U_A cu $\varphi_0 = 60^0$. Din cauză că sarcinile sunt rezistențe ohmice, curenții I_A, I_B și I_C sunt în fază cu tensiunile aplicate.

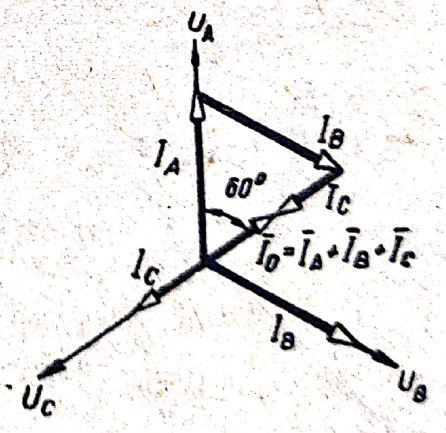


Fig. 244. Diagrama vectorială pentru un circuit trifazic cu patru fire, încărcat cu o sarcină activă neuniformă

Firul neutru poate să aibă o secțiune egală cu secțiunea firelor de fază sau chiar o secțiune mai mică, deoarece, de obiceiu, curentul în firul neutru este mai mic decât curentul în firele de fază.

Observăm că, datorită firului neutru, tensiunile în fazele receptorului rămân neschimbate, oricare ar fi încărcările fazelor. In cazul când firul neutru se rupe, dacă sarcinile (receptorii) nu sunt egale, tensiunile în diferitele

faze ale receptorilor, după cum vom vedea mai jos, pot căpăta valori foarte diferite una de alta.

La anumite faze (cele de rezistență mai mică) tensiunea va scădea, iar la altele va crește față de tensiunea normală, ceea ce nu este admisibil. Pentru acest motiv, în firul neutru se montează siguranțe, spre a evita o ruptură în acest fir.

Dacă sistemul tensiunilor de fază este simetric, iar rezistențele celor trei faze ale receptorului sunt egale, (încărcarea uniformă a fazelor), intensitățile curenților de fază vor fi egale între ele și defazate cu același unghiu față de tensiunile de fază corespunzătoare, adică sistemul curenților de fază va fi de asemenea simetric. In acest caz, intensitatea curentului din firul neutru, egală cu suma geometrică a intensităților curenților de fază, va fi egală cu zero.

In *fig. 245* se arată cei trei vectori ai intensităților curenților de fază. Adunând vectorii curenților I_A și I_B, vom obține un vector opus vectorului I_C, adică

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B = -\bar{I}_C$$

și deci suma vectorilor celor trei intensități de curent va fi egală cu zero:

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = -\bar{I}_C + \bar{I}_C = 0$$

Deoarece, în cazul unui sistem simetric de tensiuni și a a unei încărcări uniforme a fazelor, intensitatea curentului în firul neutru va fi egală cu zero, acest fir poate fi înlăturat, obținându-se astfel un sistem trifazic cu trei fire *(fig. 246)*.

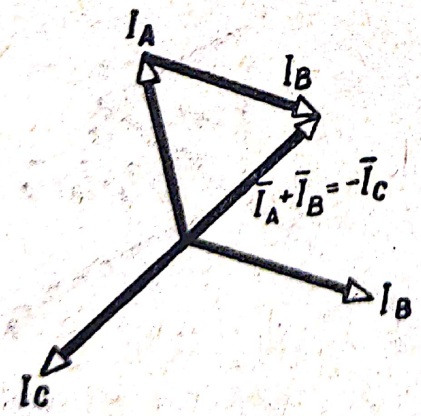


Fig. 245. Intensități de curenți simetrice într'un circuit trifazic

Dacă firul neutru lipsește, în cazul unui sistem al tensiunilor de fază ale generatorului, rezistențele fazelor receptorului de energie fiind însă neegale (încărcare neuniformă), tensiunile în diferitele faze ale receptorului vor fi neegale.

Pentru motivul indicat, în sistemul cu trei fire, se leagă în stea numai receptorii de energie, care au rezistențele de

fază egale. Ca exemplu pentru asemenea încercări uniforme pot să servească electromotoarele trifazice, care au fazele simetrice.

Calculul unui sistem trifazic simetric, cu încărcare uniformă a fazelor, se reduce la calculul unei singure faze. Să

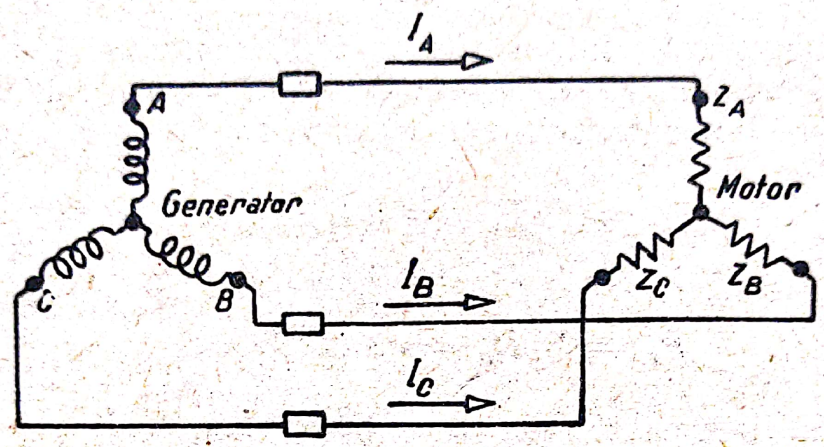


Fig. 246. Legătura în stea a generatorului şi receptorului de energie

presupunem că în circuit este montat un receptor de energie legat în stea *(fig. 246)*, ale cărei faze sunt de egală rezistenţă.

In acest caz tensiunea de fază va fi:

$$U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}}$$

Curentul de fază va fi:

$$I_f = \frac{U_f}{Z_f}$$

Cosinusul unghiului de defazaj al curentului de fază faţă de tensiunea de fază este

$$\cos \varphi = \frac{R_f}{Z_f}$$

Sinusul şi tangenta aceluiaşi unghiu sunt

$$\sin \varphi = \frac{X_f}{Z_f} \; ; \; \operatorname{tg} \varphi = \frac{X_f}{R_f}$$

Puterile activă, reactivă și aparentă ale unei faze se determină cu ajutorul expresiilor

$$P_f = U_f\ I_f \cos \varphi;\ P_{rf} = U_f\ I_f \sin \varphi$$
$$P_{af} = U_f\ I_f$$

In cazul unui sistem simetric de tensiuni și a încărcării uniforme a fazelor receptorilor, puterile corespunzătoare celor trei faze se determină cu ajutorul formulelor:

$$P = 3\ P_f = 3\ U_f\ I_f \cos \varphi$$
$$P_r = 3\ P_{rf} = 3\ U_f\ I_f \sin \varphi$$
$$P_a = 3\ P_{af} = 3\ U_f\ I_f$$

Ținând seama că, în cazul când receptorii de energie se leagă în stea, avem $I_f = I_l$ și $U_f = \frac{U_f}{\sqrt{3}}$, vom obține următoarele expresii pentru:
puterea activă

$$P = 3\ U_f\ I_f \cos \varphi = 3 \frac{U_l}{\sqrt{3}}\ I_l \cos \varphi = \sqrt{3}\ U_l\ I_l \cos \varphi$$

puterea reactivă

$$P_r = \sqrt{3}\ U_l\ I_l \sin \varphi$$

și puterea aparentă

$$P_a = \sqrt{3}\ U_l\ I_l$$

In cazul unui sistem simetric de tensiuni sau a încărcării neuniforme a fazelor receptorului, puterile activă, reactivă și aparentă ale sistemului trifazic se determină ca suma puterilor celor trei faze, adică

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$
$$P_r = P_{rA} + P_{rB} + P_{rC} = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C$$
$$P_a = P_{aA} + P_{aB} + P_{aC} = U_A I_A + U_B I_B + U_C I_C$$

Exemple

1. Un generator de curent trifazic, legat în stea, are tensiunea de fază egală cu 220 V. Receptorul are rezistența ohmică a fazei egală cu 6 Ω și reactanța inductivă de 8 Ω.

Să se determine tensiunea de linie, intensitățile curentului de fază și de linie, precum și puterea activă pe care o consumă receptorul de energie.

Tensiunea de linie:

$$V = \sqrt{3}\ U_f = 1{,}73 \times 220 = 380\ \text{V}$$

Impedanța fazei receptorului:

$$Z_f = \sqrt{R_f^2 + X_f^2} = \sqrt{(6\ \Omega)^2 + (8\ \Omega)^2} = 10\ \Omega.$$

Intensitatea curentului de fază

$$I_f = \frac{U_f}{Z_f} = \frac{220}{10} = 22\ \text{A}$$

In cazul când receptorii de energie sunt legați în stea, curentul de fază este egal cu cel de linie: $I_l = I_f = 22$ A.

Cosinusul unghiului de defazaj al curentului de fază față de tensiunea de fază este egal cu:

$$\cos \varphi = \frac{R_f}{Z_f} = \frac{6}{10} = 0{,}6$$

Puterea activă a sistemului trifazic va fi:

$$P = \sqrt{3}\ U_l\ I_l \cos \varphi = 1{,}73 \times 380 \times 22 \times 0{,}6 = 8{,}7\ \text{kW}$$

2. Un electromotor trifazic, legat în stea, funcționează sub o tensiune de 220 V cu un cosinus $\varphi = 0{,}7$ și consumă un curent de 10 A.

Să se determine puterea pe care o consumă electromotorul.

$$P = \sqrt{3}\ UI \cos \varphi = \sqrt{3} \times 220 \times 10 \times 0{,}7 = 2640\ \text{W} = 2{,}64\ \text{kW}$$

3. Un electromotor trifazic, legat în stea este montat la o rețea care are tensiune de 380 V; electromotorul consumă o putere de 10 kW, funcționând cu un cos $\varphi = 0{,}8$.

Să se determine intensitatea curentului, pe care-l absoarbe electromotorul..

Puterea, absorbită de electromotor, are expresia

$$P = \sqrt{3}\ U_l\ I_l \cos \varphi$$

de unde deducem expresia intensității curentului

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\ U_l \cos \varphi} = \frac{10\,000}{1{,}73 \times 380 \times 0{,}8} = 19\ \text{A}$$

Scanned with OKEN Scanner

Să cercetăm mai îndeaproape cazul particular al încărcării neuniforme unor receptori de energie cu legătură în stea (*fig. 247*).

Trei rezistențe R_A, R_B și R_C, legate în stea, sunt introduse în circuit sub tensiunile de linie U_{AB}, U_{BC} și U_{CA}.

Dacă $R_A = R_B = R_C$, tensiunile de fază a receptorilor sunt egale ($U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}}$) și decalate una față de cealaltă cu 120^0.

Vectorii acestor tensiuni formează o stea simetrică, extremitățile căreia coincid cu vârfurile triunghiului tensiunilor de linie, iar originile vectorilor se află într'un punct O, situat în centrul de greutate al triunghiului tensiunilor de linie (*fig. 248*).

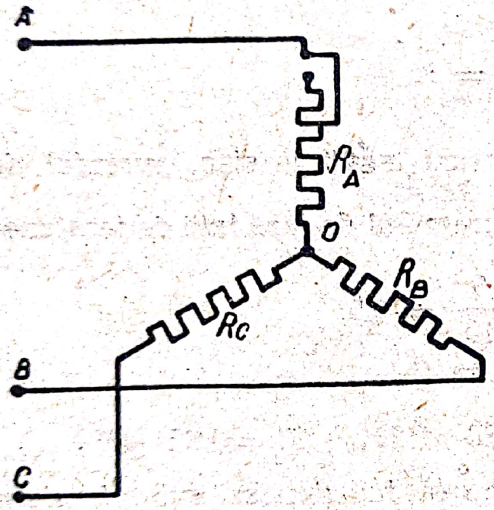


Fig. 247. Încărcarea neuniformă a fazelor de legătură în stea

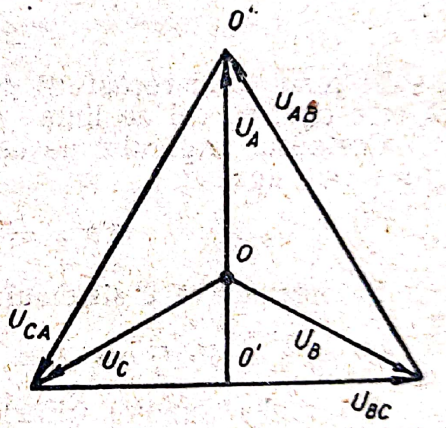


Fig. 248. Diagrama vectorială a tensiunilor de fază și de linie, în cazul unei încărcări uniforme a fazelor, legătura receptorilor de energie fiind făcute în stea

Să admitem acum, că rezistența R_A crește până la infinit, ceea ce corespunde unei rupturi în faza A. Rezistențele celorlalte două faze vor apare montate în serie și supuse tensiunii de linie U_{BC}.

Fiecare din rezistențele R_B și R_C (în ipoteza $R_B = R_C$) va fi supusă unei tensiuni egală cu jumătatea tensiunii de linie, adică vom avea $U_B = U_C = \frac{U_{BC}}{2} = \frac{U_l}{2}$, pe când între punctul neutru O și firul A (*fig. 247*), care reprezintă tensiu-

nea în faza A, va fi determinată de lungimea vectorului $O'O''$ (*fig. 248* și *249*), egal cu înălțimea triunghiului tensiunilor de linie.

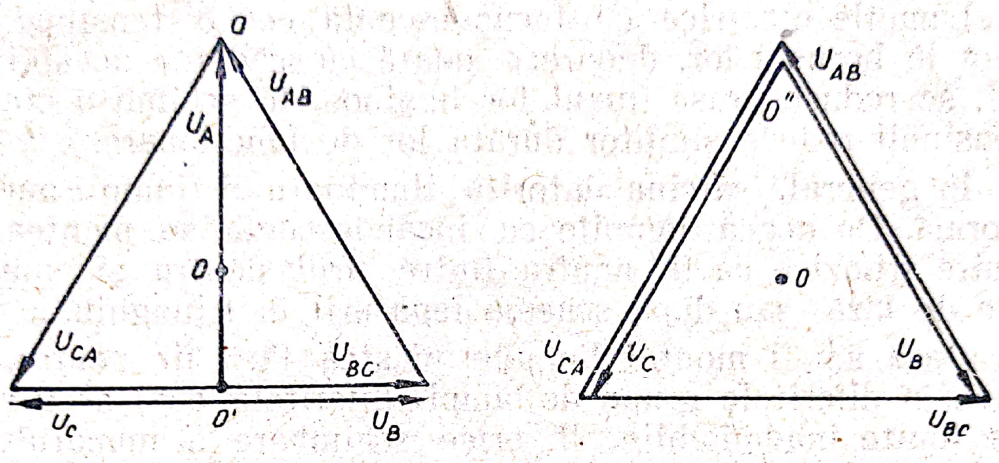


Fig. 249. Diagramele vectoriale ale tensiunilor de fază și de linie la receptorii de energie cu legătura în stea, supuși unei sarcini neuniforme

Într'adevăr, pentru orice valori ale rezistențelor fazelor, tensiunile de linie rămân neschimbate, iar diferența vectorilor a două faze succesive (vectorul tensiunii de linie) denine:

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_A - \bar{U}_B = \bar{U}_A - \frac{1}{2}\bar{U}_{BC} \text{ sau } \bar{U}_A = \bar{U}_{AB} + \frac{1}{2}\bar{U}_{BC} =$$

$$= \overline{O'O''}, \text{ de unde } \bar{U}_A = \bar{U}_{AB} \cos 30^0 = 0{,}867\, U_l.$$

Astfel rezistența fazei A crescând dela $R_A = R_B = R_C$ până la $R_A = \infty$, punctul neutru O din diagrama vectorială se deplasează la punctul O'.

Să presupunem acum, că rezistența fazei A scade dela $R_A = R_B = R_C$ până la zero, ceea ce corespunde unei scurt-circuitări a fazei A. In acest caz-limită, extremitățile fazelor B și C vor fi legate cu firul A și deci tensiunea de fază U_A va fi egală cu zero ($U_A = O$) (*fig. 248* și *249*).

Tensiunea de fază U_B va fi egală cu densiunea de linie U_{AB}, adică $U_B = U_{AB}$ și însfârșit, tensiunea de fază U_C va fi egală cu tensiunea de linie U_{CA}, adică $U_C = U_{CA}$. In acest caz punctul neutru O al diagramei vectoriale se va deplasa în punctul O''. Astfel, rezistența fazei A variind dela zero până la init, tensiunea de fază U_A va varia dela zero până la 0,867 U_l, iar tensiunea în celelalte două faze — dela U_l până la $\frac{1}{2} U_l$.

Odată cu aceastea, punctul neutru O al diagramei se va deplasa după linia dreaptă care unește mijlocul vectorului U_{BC} cu vârful triunghiului vectorilor O''.

Lămpile electrice cu incandescență cer o tensiune constantă la bornele lor, deoarece, odată cu scăderea acestei tensiuni, se reduce brusc fluxul lor luminos. In schimb o creștere a tensiunii reduce simțitor durata lor de funcționare.

In general, sarcina datorită iluminatului (lămpi) nu este uniformă. De aceea lămpile cu incandescență se montează în circuite trifazice cu fir neutru (între firul neutru și unul din firele de fază) sau după schema legăturii în triunghiu.

Dacă am fi montat lămpile în stea fără fir neutru, tensiunea în diferitele grupe de lămpi (diferitele faze) ar fi variat între limite inadmisibile, la orice schimbare a numărului de lămpi introduse în rețea. Astfel, dacă ar fi fost introduse în rețeaua legată în stea lămpi cu tensiunea nominală $U_n = 127$ V tensiunea de fază a acestor lămpi în cazul unei încărcări uniforme ar fi fost $U_l = U_n = 127$ V; în cazul scurt-circuitării uneia dintre faze, tensiunea în lămpile celorlalte două faze s'ar fi ridicat până la $U_l = \sqrt{3}\, U_l = 127 \times 1{,}73 = 220$ V, iar la scoaterea din circuit a tuturor lămpilor de pe o fază, tensiunea lămpilor de pe celelalte faze ar fi căzut până la $\frac{1}{2}\ U_l$, adică până la $\frac{1}{2}\ 220 = 110$ V, ceea ce, evident. este inadmisibil.

127. Legarea receptorilor de energie în triunghiu

In legarea receptorilor de energie în triunghiu (*fig. 250* și *251)* diferitele faze ale receptorului se leagă de firele exterioare, care vin dela generator. Prin urmare, fiecare fază a receptorului se introduce direct în tensiunea de linie, care în același timp este și tensiunea de fază, adică

$$U_A = U_{AB},\ U_B = U_{BC} \text{ și } U_C = U_{CA}$$

Este evident că tensiunea de fază (spre deosebire de legătura în stea) nu depind de rezistențele fazelor receptorului.

Să alegem ca sens pozitiv al curenților de fază direcțiile dela A' la B', dela B' la C' și dela C' la A'. Ca sens pozitiv

al curenţilor din firele exterioare admitem sensul dela generator la receptor.

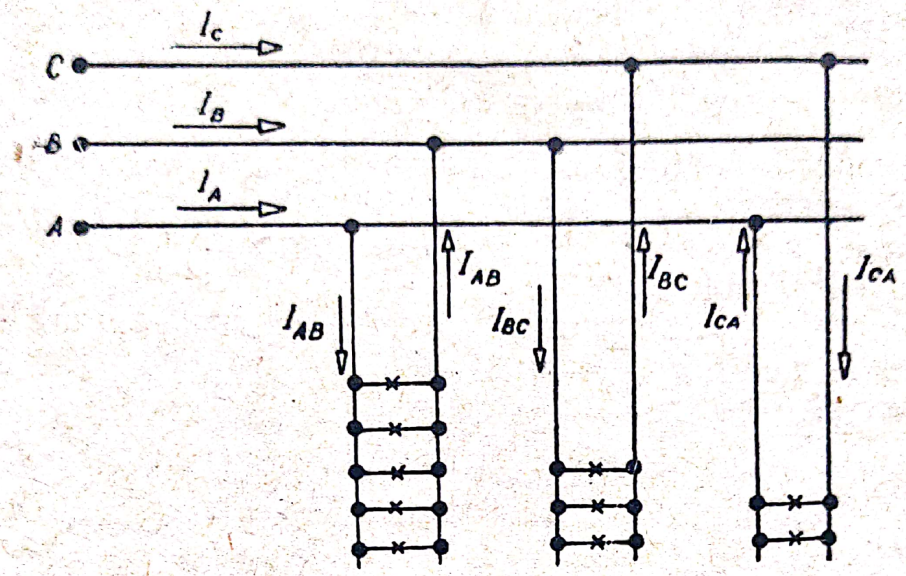


Fig. 250. Legarea receptorilor de energie în triunghiu

In baza primei legi a lui Kirchhoff, valorile instantanee ale curenţilor în nodul A' vor fi legate de relaţia:

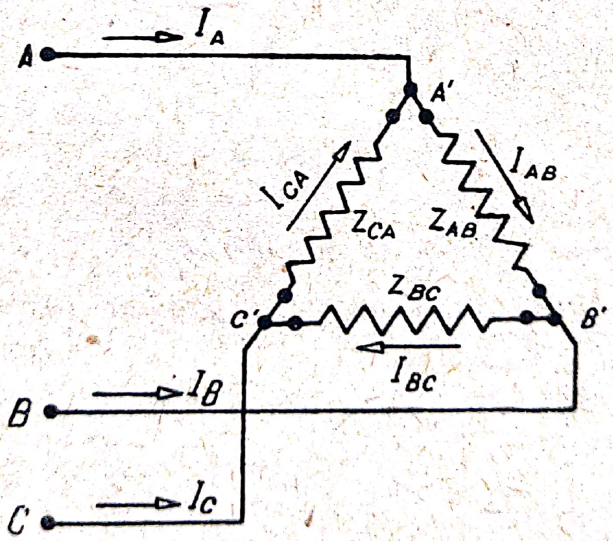


Fig. 251. Legarea receptorilor de energie în triunghiu

$$i_A + i_{CA} = i_{AB}$$

de unde:

$$i_A = i_{AB} - i_{CA}$$

In mod analog putem scrie pentru nodul B':

$$i_B = i_{BC} - i_{AB}$$

iar pentru punctul C':

$$i_C = i_{CA} - i_{BC}$$

Deducem de aici că valoarea instantanee a unui curent de linie oarecare, este egală cu diferența algebrică a valorilor instantanee ale curenților din fazele care sunt legate cu conductorul (firul) dat.

Din cele expuse rezultă că vectorul unui curent de linie oarecare se poate afla făcând diferența vectorilor corespunzători curenților de fază.

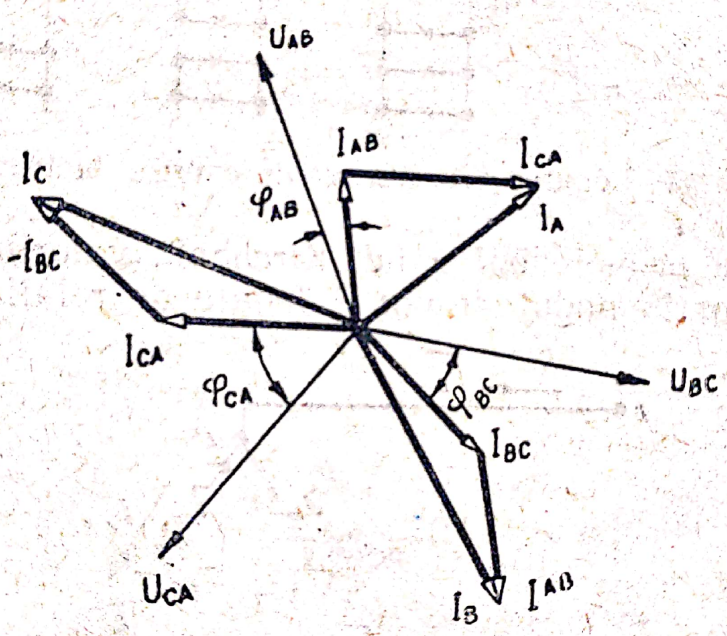


Fig. 252. Diagramele vectoriale aie unui circuit trifazic în cazul legării receptorilor în triunghiu

In *fig. 252* este dată diagrama vectorială a tensiunilor și a curenților, în cazul când receptorii de energie sunt legați în triunghiu. In diagrama vectorilor, curenții de linie sunt obținuți ca diferențe ale vectorilor

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA},\ \bar{I}_B = \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB} \text{ și } \bar{I}_C = \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}$$

In această diagramă toți vectorii au fost construiți astfel ca să aibă o origine comună. Câteodată, pentru mai multă claritate, vectorii pot fi supuși unei mișcări de translație,

Scanned with OKEN Scanner

adică aduși într'o poziție paralelă cu cea inițială, astfel încât vectorii tensiunilor să dea un triunghiu pozitiv *(fig. 253)*.

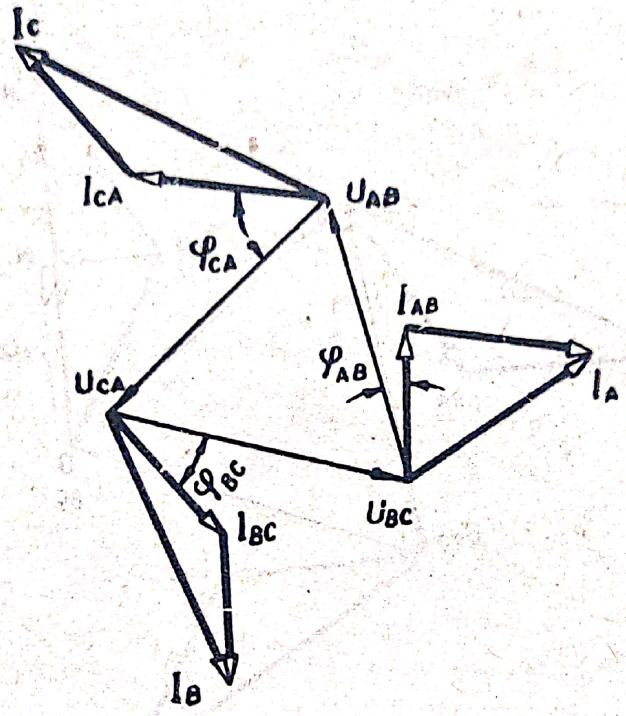


Fig. 253. Diagramele vectoriale ale unui circuit trifazic în care receptorii au legătura în stea

In *fig. 254* este dată diagrama vectorială pentru cazul unei încărcări active neuniforme.

Dacă încărcarea fazelor este uniformă

$$Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = Z_f$$

și

$$\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA}$$

deci valorile efective ale curenților de fază sunt egale și au defazaje egale față de tensiunile corespunzătoare *(fig. 255)* sau, ceea ce este tot una, sunt defazate cu un unghiu de 120^0 unele față de celelalte. Prin urmare, curenții de fază formează un sistem simetric. Pentru a putea afla relația între curenții de linie și de fază, coborîm o perpendiculară din extremitatea unui

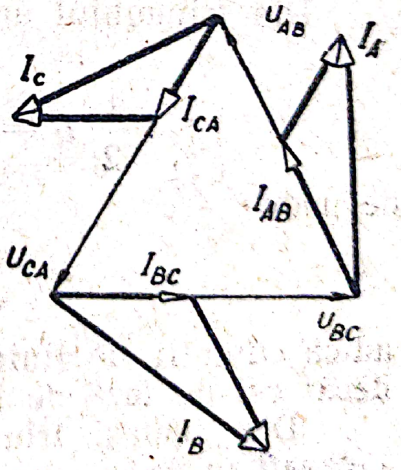


Fig. 254. Diagramele vectoriale ale unui circuit trifazic în care receptorii au legătura în triunghiu

vector, reprezentând un curent de faza I_{AB} oarecare, pe vectorul curentului de linie I_A (*fig. 255*).

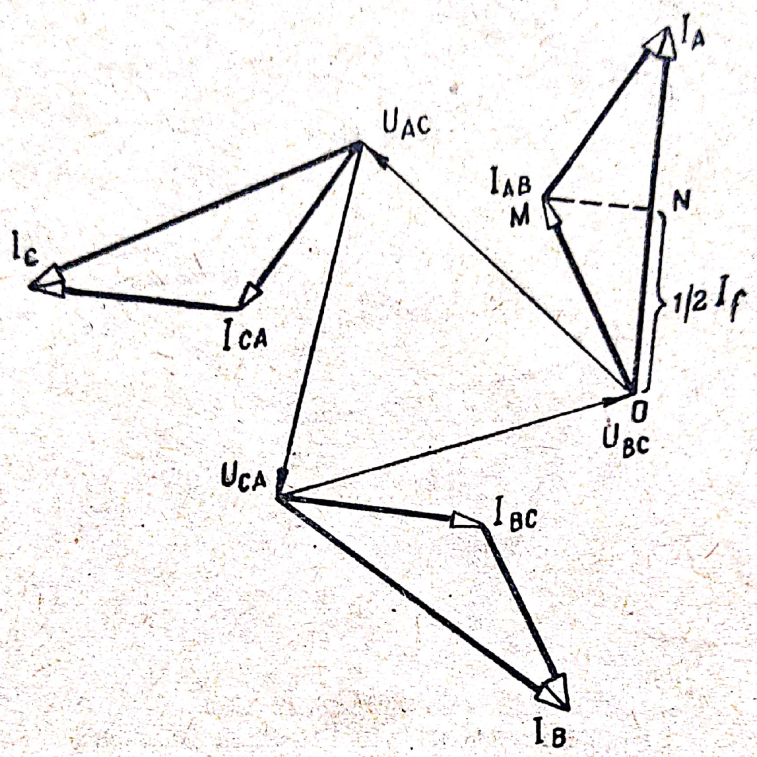


Fig. 255. Diagrama vectorială a unui circuit trifazat, cu legătura de triunghiu a receptorilor, în cazul unei încărcări uniforme

Din triunghiul dreptunghiu obținuț OMN rezultă că

$$\frac{1}{2} I_l = I_f \times \cos 30^0 = I_f \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

de unde

$$I_l = \sqrt{3}\ I_f$$

adică curenții de linie sunt mai mari în valoarea absolută decât cei de fază de $\sqrt{3}$ ori.

Din același triunghiu rezultă: curenții de linie sunt defazați în urma curenților de fază corespunzători cu 30^0.

In cazul unei încărcări uniforme a fazelor, calculul circuitului trifazic cu legătura în triunghiu, se reduce la calculul unei singure faze.

In acest caz :

tensiunea de fază

$$U_f = U_l$$

curentul de fază

$$I_f = \frac{U_f}{Z_f}$$

curentul de linie

$$I_l = \sqrt{3}\, I_f$$

Cosinusul și sinusul unghiului de defazaj între curentul pe fază față de tensiunea pe fază se determină cu ajutorul expresiilor

$$\cos \varphi = \frac{B_f}{Z_f}, \quad \sin \varphi = \frac{X_f}{Z_f}$$

Puterile activă, reactivă și aparentă ale unei faze se determină cu ajutorul expresiilor :

$$P_f = U_f\, I_f \cos \varphi, \quad P_{rf} = U_f\, I_f \sin \varphi, \quad P_{af} = U_f\, I_f$$

În cazul unui sistem simetric de tensiuni și a unei încărcări uniforme a receptorilor, puterile corespunzătoare ale celor trei faze se vor determina folosind relațiile :

$$P = 3\, P_f = 3\, U_f\, I_f \cos \varphi,$$
$$P_r = 3\, P_f = 3\, U_f\, I_f \sin \varphi,$$
$$P_a = 3\, P_{af} = 3\, U_f\, I_f.$$

Ținând seama că, la legarea receptorilor de energie în triunghiu, avem $U_f = U_l$ și $I_f = \frac{I_l}{\sqrt{3}}$, vom obține expresiile puterii active :

$$P = 3\, U_f\, I_f \cos \varphi = 3\, U \frac{I_l}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3}\, U_l\, I_l \cos \varphi$$

puterii reactive :

$$P_r = \sqrt{3}\, U_l\, I_l \sin \varphi$$

și a puterii aparente:

$$P_a = \sqrt{3}\, U_l\, I_l$$

Scanned with OKEN Scanner

In cazul unul sistem nesimetric al tensiunilor sau a unei încărcări neuniforme a fazelor receptorilor, energiile activă, reactivă şi aparentă ale sistemului trifazic se determină ca sume ale puterilor respective din diferitele faze, adică determinarea lor se face cu aceleaşi expresii, ce au fost deduse pentru cazul legării receptorilor de energie în stea.

Exemple

1. Un electromotor trifazic, legat în triunghiu, funcţionează sub o tensiune de 120 V, cu un cos $\varphi = 0{,}8$ absorbind o putere de 3 kW. Să se determine intensităţile curenţilor de fază şi de linie.

Din expresia $P = \sqrt{3}\, U_l\, I_l \cos \varphi$ rezultă că:

$$I_l = \frac{P}{\sqrt{3}\, U_l \cos \varphi} = \frac{3000}{1{,}73 \times 120 \times 0{,}8} = 18 \text{ A}$$

Curentul de fază va fi:

$$I_f = \frac{I_l}{\sqrt{3}} = \frac{18}{1{,}73} = 10{,}4 \text{ A}$$

2. Un electromotor trifazic, legat în triunghiu, funcţionează sub o tensiune de 120 V, consumând un curent de 25 A şi o putere de 3 kW. Să se determine factorul de putere al electromotorului.

Din expresia $P = \sqrt{3}\, U_l\, I_l \cos \varphi$ rezultă că

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3}\, U_l\, I_l} = \frac{3000}{1{,}73 \times 120 \times 25} = 0{,}58$$

Oricare ar fi modul în care se leagă receptorii de energie, suma algebrică a valorilor instantanee ale curenţilor de linie, într'un circuit trifazic cu trei fire, este egală cu zero.

Admiţând ca pozitiv sensul dela generator la receptorul de energie pentru curenţii de linie, se poate scrie pentru punctul neutru:

$$i_A + i_B + i_C = 0.$$

La legarea consumatorilor de energie în triunghiu, suma curenţilor de linie

$$i_A + i_B + i_C = i_{AB} - i_{CA} + i_{BC} - i_{AB} + i_{CA} - i_{BC} = 0.$$

Din cele scrise rezultă, că dacă curenţii sunt reprezentaţi

prin vectori, atunci suma vectorilor intensităţilor de curent de linie este egală cu zero,

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0$$

De aceea, de exemplu, la un cablu de curent trifazat fluxul magnetic este nul, ceea ce permite a întrebuinţa ca înveliş de protecţie cămaşa de oţel, pentru a-l feri de deteriorări mecanice. Dacă însă suma intensităţilor de curent n'ar fi egală cu zero, atunci fluxul magnetic ar fi produs magnetizarea învelişului de oţel şi încălzirea lui.

PROBLEME RECAPITULATIVE

1. O rezistenţă ohmică $R = 12\ \Omega$ este alimentată la o tensiune alternativă $U = 120$ V. Să se afle curentul din circuit.

Rezolvare:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{120}{12} = 10 \text{ A}$$

Vectorial, căderea de tensiune prin rezistenţă ($R \times I$) şi curentul I se reprezintă ca în fig. 119.

2. O tensiune alternativă de 220 V cu frecvenţa $f = 50$ per/s alimentează o bobină de inducţie cu o autoinductivitate $L = 0{,}2$ henry. Să se afle curentul ce trece prin circuit.

Rezolvare:

$$\omega = 2\pi f = 2 \times 3{,}14 \times 50 = 314 \text{ rad/s}$$

$$I = \frac{U}{L\omega} = \frac{220}{0{,}2 \times 314} = \frac{220}{62{,}8} = 3{,}5 \text{ A}$$

Reprezentarea vectorială a curentului I şi a căderii de tensiune prin rezistenţa inductivă $L\omega I$ este ca în *fig. 121.*

3. O capacitate $C = 0{,}001$ farazi este alimentată la o tensiune $U = 110$ V cu frecvenţa $f = 50$ per/s. Să se afle curentul din circuit.

Rezolvare:

$$\omega = 2\pi f = 2 \times 3{,}14 \times 50 = 314 \text{ rad/s}$$

$$I = U\,C\,\omega = 110 \times 0{,}001 \times 314 = 34{,}54 \text{ A}$$

Reprezentarea vectorială a curentului I şi a căderii de tensiune prin capacitate $\left(\frac{I}{C\omega}\right)$ este ca în *fig. 123.*

4. Un circuit electric este format dintr'o bobină având rezistența $R_1 = 2$ ohmi și autoinducția $L = 0{,}02$ henry și un reostat având numai rezistența $R_2 = 3$ ohmi. Știind că circuitul este montat sub o tensiune de 220 V și 50 per/s să se determine:

a) curentul care străbate circuitul,
b) puterea aparentă a circuitului,
c) puterea consumată sub formă de efect Joule,
d) tensiunea la bornele bobinei și reostatului.

Rezolvare:

a) $$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (L\,\omega)^2} = \sqrt{(2+3)^2 + (2\,\pi \times 50 \times 0{,}02)^2} =$$

$$= \sqrt{25 + 39{,}5} = 8 \text{ ohmi}$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{8} = 27{,}5 \text{ A}$$

b) $$P_a = UI = 220 \times 27{,}5 = 6\,050 \text{ VA}$$

c) $$P = (R_1 + R_2)\, I^2 = (2+3) \times (27{,}5)^2 = 3\,800 \text{ waţi}$$

$$P = UI \cos \varphi = 220 \times 27{,}5 \times 0{,}63 = 3\,800 \text{ waţi}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L\,\omega}{R_1 + R_2} = \frac{2\,\pi \times 50 \times 0{,}02}{2+3} = 1{,}25$$

Rezultă $\cos \varphi = 0{,}63$ (din tabele).

d) $$U_2 = R_2\, I = 3 \times 27{,}5 = 82{,}5 \text{ V}$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (L\,\omega)^2} = \sqrt{(2)^2 + (2\,\pi \times 50 \times 0{,}02)^2} = \sqrt{4 + 39{,}5} =$$

$$= 6{,}6 \text{ ohmi}$$

$$U_1 = Z_1\, I = 6{,}6 \times 27{,}5 = 182 \text{ V.}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{L\,\omega}{R_1} = \frac{2\,\pi \times 50 \times 0{,}02}{2} = 3{,}14$$

Rezultă $\cos \varphi_1 = 0{,}3$ (din tabele).

Verificare:

$$U \cos \varphi = U_1 \cos \varphi_1 + U_2$$

$$220 \times 0{,}63 = 182 \times 0{,}3 + 82{,}5 \text{ volţi}$$

5. O rezistență R de 31,4 ohmi în derivație cu o bobină având autoinducția $L = 0{,}1$ henry sunt montate sub o tensiune alternativă având valoarea maximă $U_{max} = 141$ V și frecvența de 50 per/s.

a) Să se determine valoarea efectivă a curentului rezultant.
b) Să se determine valoarea efectivă a curentului rezultant în cazul când bobina este înlocuită cu o rezistență de 31,4 ohmi.

c) Să se determine valoarea efectivă a curentului în cazul când rezistența dela punctul (a) se înlocuește cu o capacitate $C = 0{,}0001$ farazi.

Rezolvare:

$$\text{a) } U = \frac{U_{max.}}{\sqrt{2}} = \frac{141}{1{,}41} = 100 \text{ V}$$

$$Z_1 = 31{,}4 \text{ ohmi}$$

$$\omega = 2\,\pi\,f = 2 \times 3{,}14 \times 50 = 314 \text{ rad/s.}$$

$$Z_2 = L\,\omega = 0{,}1 \times 314 = 31{,}4 \text{ ohmi}$$

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{100}{31{,}4} = 3{,}19 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{100}{31{,}4} = 3{,}19 \text{ A}$$

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} = \sqrt{3{,}19^2 + 3{,}19^2} = \sqrt{10{,}17 + 10{,}17} = \sqrt{20{,}34} = 4{,}52 \text{ A}$$

$$\text{b) } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2};$$

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{31{,}4^2}{2 \times 31{,}4} = \frac{31{,}4}{2} = 15{,}7 \text{ ohmi}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{15{,}7} = 6{,}37 \text{ A}$$

$$\text{c) } Z_1 = \frac{1}{C\,\omega} = \frac{1}{0{,}0001 \times 314} = \frac{1}{0{,}0314} \text{ ohmi}$$

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = 100 \times 0{,}0314 = 3{,}14 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{100}{31{,}4} = 3{,}19 \text{ A}$$

$$I = I_2 - I_1 = 3{,}19 - 3{,}14 = 0{,}05 \text{ A}$$

6. Un electromotor de curent alternativ are la plină sarcină o putere mecanică de 300 CP. Randamentul $\eta = 0{,}92$. Dacă sub o tensiune de 3000 V absoarbe 86 A se cere:

a) factorul de putere al motorului,

b) curentul activ și reactiv,

c) puterea aparentă.

Rezolvare:

a) Transformarea puterii mecanice din CP în kW

$$P_m = 300 \times 0{,}736 = 220{,}8 \text{ kW} = 220{,}800 \text{ waţi}$$

Puterea electrică absorbită de motor este:

$$P = \frac{P_m}{\eta} = \frac{220\,800}{0{,}92} = 240\,000 = 240 \text{ kW}$$

$$P = UI \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} = \frac{240\,000}{3\,000 \times 86} = 0{,}932$$

b) $I_r = I \sin \varphi = I \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = 86 \sqrt{1 - 0{,}932^2} = 31{,}0$ A

$I_a = I \cos \varphi = 86 \times 0{,}93 = 80$ A

c) $P_a = UI = 3\,000 \times 86 = 258$ kVA

7. În cazul tensiunii de 3000 V, de mai sus se cere:
a) valoarea amplitudinii,
b) valoarea instantanee a tensiunii după $^1/_8$ din perioadă.

Rezolvare:

$$\text{a) } E_{max.} = \sqrt{2}\, E = \sqrt{2} \times 3\,000 = 4230 \text{ V}$$

$$\text{b) } e = E_{max.} \sin \frac{2\pi}{T} t = E_{max.} \sin \frac{2\pi}{T} \times \frac{1}{8} T = E_{max.} \sin \frac{2\pi}{8} =$$

$$= 4\,230 \sin 45^0 = \frac{4230}{\sqrt{2}} = 3\,000 \text{ V}$$

8. Cât de mare este factorul de putere al unei bobine fără miez de fier având o rezistenţă $R = 6{,}4$ ohmi, dacă consumă o putere de 1 000 waţi sub o tensiune de 100 volţi?

Rezolvare:

$$P = I^2 R = 1000 \text{ W} = UI \cos \varphi ; \; I = \frac{U \cos \varphi}{R}$$

$$\text{Obţinem } P = \left(\frac{U \cos \varphi}{R}\right)^2 \times R$$

$$\cos \varphi = \frac{\sqrt{P \times R}}{U} = \frac{\sqrt{1\,000 \times 6{,}4}}{100} = 0{,}8$$

9. O tensiune sinusoidală de 100 V produce un curent de 10 A cu $\cos \varphi = 0{,}866$ ($\varphi = 30^0$). Să se determine:

Scanned with OKEN Scanner

a) puterea aparentă,
b) puterea reală,
c) curentul activ şi reactiv,
d) rezistenţa circuitului,
e) puterea reactivă.

Rezolvare:

a) $P_a = UI = 100 \times 10 = 1000$ VA

b) $P = UI \cos \varphi = 100 \times 10 \times 0{,}866 = 866$ waţi

c) $I_a = I \cos \varphi = 10 \times 0{,}866 = 8{,}66$ A

$I_r = I \sin \varphi = 10 \times \frac{1}{2} = 5$ A

d) $P = I^2 R$; $R = \frac{P}{I^2} = \frac{866}{10^2} = \frac{866}{100} = 8{,}66$ ohmi

sau:

$$R = \frac{U \cos \varphi}{I} = \frac{100 \times 0{,}866}{10} = 8{,}66 \text{ ohmi}$$

e) $P_r = UI_r = 100 \times 5 = 500$ VAR

10. Un motor trifazat are 3 faze legate în stea; tensiunea la borne este 250 V şi consumă 20 A. Care este tensiunea fiecărei faze faţă de firul neutru şi care este intensitatea? Dacă cos $\varphi = 0{,}8$ care este puterea?

Rezolvare:

$$U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}} = \frac{250}{1{,}73} = 144 \text{ V}$$

$$I = 20 \text{ A}$$

$$P = \sqrt{3}\, UI \cos \varphi = \sqrt{3} \times 250 \times 20 \times 0{,}8 = 6920 \text{ waţi}$$

11. In acelaşi motor bobinajul celor 3 faze se leagă în triunghiu. Care este tensiunea cu care va putea funcţiona şi câţi amperi va putea absorbi? Care este puterea sub cos $\varphi = 0{,}8$?

Rezolvare:

$$U_f = 144 \text{ V}$$

$$I = 20 \times 1{,}73 = 34{,}6 \text{ A}$$

$$P = \sqrt{3}\, UI \cos \varphi = \sqrt{3} \times 144 \times 34{,}6 \times 0{,}8 = 6920 \text{ waţi}$$

12. Vrem să construim un cuptor trifazat cu rezistenţe care să consume 10 kW. Tensiunea de alimentare este 220 V. Se cere rezistenta R a fiecărei faze pentru legarea în stea şi în triunghiu şi curentul absorbit.

Scanned with OKEN Scanner

Rezolvare:

$$P = \sqrt{3}\, UI \ (\cos \varphi = 1)$$

$$10\,000 = 1{,}73 \times 220 \times I$$

$$I = \frac{10\,000}{220 \times 1{,}73} = 26{,}3 \text{ A}$$

a) Rezistența în stea. Pe fiecare fază avem:

$$U_f = \frac{220}{1{,}73} = 127 \text{ V}$$

Rezistența necesară este dată de legea lui Ohm:

$$R = \frac{U_f}{I} = \frac{127}{26{,}3} = 4{,}85 \ \Omega$$

b) Rezistența în triunghiu. Fiecare ramură a triunghiului va fi sub 220 V și va absorbi 26,3 : 1,73 = 15,2 A.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{15{,}2} = 14{,}5 \ \Omega$$

Puterea este aceeași în ambele cazuri:

(a) $3 \times 26{,}3 \times 127 = 10\,000$ W

(b) $3 \times 15{,}2 \times 220 = 10\,000$ W

In cazul (a) firul va fi gros și mai scurt iar în cazul (b) firul va fi mai lung și mai subțire.

TABLA DE MATERII

PARTEA I-a

Bazele, importanţa şi rolul Electrotehnicei

Pag.

1. Fenomene magnetice şi electrice 5
2. Etape în istoria electricităţii 6
3. Probleme de electricitate 7
4. Electrotehnica în construirea societăţii comuniste 12
5. Rolul tehnicianului şi inginerului 15

PARTEA II-a

Studiul Electrotehnicei

CAPITOLUL I

Curentul Electric

6. Experienţă asupra efectelor curentului electric 17
7. Producerea electricităţii prin reacţiuni chimice 18
8. Circuitul electric şi sensul curentului 19
9. Forţa electromotoare 21
10. Intensitatea curentului electric. Cantitate de electricitate 22
11. Densitatea curentului electric 23
12. Câmp electric. Tensiune electrică 23

CAPITOLUL II

Rezistenţele electrice

13. Experienţe 25
14. Calculul rezistenţei electrice 26
15. Variaţia rezistenţei electrice cu temperatura 28
16. Rezistenţa electrică a corpurilor lichide 31
17. Rezistenţa electrică a corpului omenesc 32

Pag.

CAPITOLUL III

Legea lui Ohm

18. Experienţe 33
19. Legea lui Ohm 34
20. Rezistenţa interioară a unui regenerator de curent 36
21. Căderea de tensiune şi tensiunea la borne 36
22. Scurt circuitare. Siguranţe fuzibile 38
23. Reostate 39
24. Diferite feluri de rezistenţe electrice folosite în practică 41

CAPITOLUL IV

Legile lui Kirchhoff

25. Experienţe 42
26. Legea I-a lui Kirchhoff 43
27. Legea a II-a lui Kirchhoff 44
28. Reţelele electrice 45
29. Aplicaţiuni industriale 48
30. Calcularea curenţilor într'o ramificaţie 53
31. Legarea rezistenţelor 54
32. Legarea surselor de energie electrică 58

CAPITOLUL V

Puterea şi energia electrică

33. Puterea şi energia mecanică 62
34. Puterea şi energia electrică 63
35. Energia termică produsă de curentul electric 65
36. Unităţi electrice practice 68
37. Aplicaţii electrice industriale 70

CAPITOLUL VI

Câmpul magnetic

38. Câmpul magnetic al unui curent ce trece printr'un conductor drept 77
39. Câmpul magnetic al unui curent circular şi al unei bobine 80
40. Magneţi naturali şi artificiali. Teoria lui Ampère 83
41. Magnetismul pământesc. Acul magnetic. Busola 84
42. Câmp magnetic 86
43. Influenţa magnetică 86
44. Flux magnetic 87
45. Inducţia magnetică. Permeabilitatea 88
46. Legătura între fluxul magnetic, inducţia magnetică şi secţiunea unui corp 90

Scanned with OKEN Scanner

Pag.

47. Propietăţile magnetice ale fierului 91
48. Ciclul de magnetizare. Histerezis 92
49. Circuit magnetic. Intrefier 95

CAPITOLUL VII

Forţele electromagnetice

50. Electromagneţi 98
51. Forţa portantă a electromagnetului 101
52. Alte aplicaţiuni industriale ale electromagnetului 102
53. Acţiunea câmpului magnetic asupra unui conductor mobil străbătut de curent electric 106
54. Formula forţei electromagnetice 108
55. Acţiunea câmpului magnetic asupra unei spire străbătută de un curent electric 109
56. Alte experienţe relative la acţiunea unui câmp magnetic asupra unei porţiuni mobile a unui circuit străbătut de curent . 110
57. Acţiunea unui curent aspra propiului său circuit 112
58. Acţiunea reciprocă a curenţilor electrici 113

CAPITOLUL VIII

Inducţia electromagnetică

59. Producerea f. e. m. de inducţie prin mişcarea unui conductor într'un câmp magnetic 115
60. Producerea f. e. m. de inducţie prin variaţia fluxului dat de un curent variabil 119
61. Bobina de inducţie 120
62. Alte metode de a produce f. e. m. de inducţie 121
63. Legea lui Lenz 122
64. Rotirea unei spire într'un câmp magnetic 123
65. Curenţii Foucault 127
66. Autoinducţia. Coeficient de autoinducţie şi de inducţie mutuală . 134
67. Bobinaj autoinductiv 130
68. Stabilirea curentului într'un circuit 136
69. Energia câmpului magnetic 136

CAPITOLUL IX

Câmpul electric

70. Câmpul electric 137
71. Electrizare prin frecare 139
72. Electrizare prin contact 139
73. Cele două feluri de electricitate 140
74. Electroscopul 141
75. Legea lui Coulomb 142

Scanned with OKEN Scanner

Pag.

76. Unitatea electrostatică de cantitate de electricitate 143
77. Intensitatea câmpului electric. Linii de forță 143
78. Potențial 145
79. Electrizarea prin influență 146
80. Mașina electrostatică 148
81. Răspândirea electricității pe suprafața corpurilor 149
82. Densitatea electrică 150
83. Condensatoare cu capacitate electrică 150
84. Capacitatea condensatoarelor electrice 154
85. Încărcarea și descărcarea condensatoarelor 154
86. Legarea condensatoarelor 157
87. Electricitatea atmosferică 160

CAPITOLUL X

Diverse fenomene electrice

88. Descărcarea electrică 162
89. Descărcările electrice în faze 163
90. Razele X 166
91. Radioactivitatea 168
92. Fenomene termoelectronice 170
93. Fenomenul fotoelectric 172

CAPITOLUL XI

Fenomene electrochimice

94. Curentul electric în soluții electrolitice 173
95. Electroliza 175
96. Legile electrolizei 176
97. Aplicațiile electrolizei 179
98. Elemente galvanice 182
99. Clasificarea pilelor electrice 185
100. Acumulatoarele 190
101. Încărcarea, descărcarea și funcționarea acumulatoarelor 196
102. Acumulatoarele alcaline 203

CAPITOLUL XII

Curentul alternativ

103. Câteva noțiuni trigonometrice 206
104. Noțiuni generale și definiții relative la curentul alternativ 212
105. Obținerea forțelor electromotoare alternative 216
106. Valori sinusoidale și determinarea lor 219
107. Valorile efective ale tensiunilor și intensităților de curent 223
108. Acțiunile electromagnetice ale curenților alternativi 225
109. Reprezentarea grafică a mărimilor sinusoidale 228

Pag.

CAPITOLUL XIII

Circuitele de curent alternativ

110. Considerațiuni generale 233
111. Circuit cu rezistență ohmică 234
112. Circuit cu rezistență ohmică și inductivitate 237
113. Puterea curentului alternativ într'un circuit cu rezistență ohmică și inductivitate 247
114. Energia activă și reactivă 252
115. Circuit cu rezistență ohmică și inductivitate în derivație 253
116. Circuit de curent alternativ cu capacitate 258
117. Circuit de curent alternativ conținând rezistență ohmică și capacitate legate în serie 262
118. Circuit de curent alternativ conținând rezistență ohmică, inductivitate și capacitate legate în serie 264
119. Circuit oscilant 267
120. Rezonanța tensiunilor 269
121. Rezonanța intensității de curent. Circuit ramificat cu rezistență ohmică, inductanță și capacitate 272
Probleme recapitulative 305

Scanned with OKEN Scanner

ERRATA

Pag.	*Rândul*	*In loc de*	*Se va citi*
23	18	aşezate în faţă	aşezate faţă în faţă
26	2	aluminiu de şi cupru	de aluminiu şi cupru
29	15	t_2	r_2
29	17	$r_2 = r_1 + \alpha\, r\, (t_2 - t_1)$	$r_2 = r_1 + \alpha\, r_1\, (t_2 - t_1)$
42	11	circuit în care avem ramificaţii	circuit în care nu avem ramificaţii
52	33	$U = R_1 \times I \times R_2 \times I$	$U = R_1\, I + R_2\, I$
61	17	$r0$	r_0
75	6	exizilor de azot	oxizilor de azot
90	2	susţinerea unui corp	secţiunea unui corp
149	1	radical	radial
176	3	Radiatorul NO_3	Radicalul NO_3
182	11	electrozi şi	electrozi din
193	22	a—uc	acu—
196	3	1,18—1,23^0	18—23^0
200	31	plăcile să fie	plăcile să nu fie
203	21	depunerile	dopurile
206	2	—	103
208	12	1	—1
209	21	ş —	şi

Scanned with OKEN Scanner

Pag.	*Rândul*	*In loc de*	*Se va citi*
213	2	$\Phi = B \times a$	$\Phi = B \times G$
224	29	$0{,}24 \times E^2 \times R$	$0{,}24 \times I^2 \times R$
233	34	tensiunea L	inductivitatea L
238	29	$I \times R$	$i \times R$
241	14	$\frac{E_i}{I}$	$\frac{E}{I}$
242	13	X_1	X_L
242	25	$\frac{I}{R}$	$\frac{X_L}{R}$
243	10	$U_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$	$U_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$
247	12	—	113. Puterea curentului alternativ într'un circuit cu rezistență ohmică și inductivitate
286	7	$\sqrt{3\ Uf}$	$3\ Uf$
290	13	$\frac{A_A}{Z_A}$	$\frac{U_A}{Z_A}$
297	6	denine	devine
297	17	densiunea	tensiunea
203	10	$\cos \varphi = \frac{B_f}{Z_f}$	$\cos \varphi = \frac{R_f}{Z_f}$

ERRATA DATORITĂ AUTORULUI

Pag.	*Rândul*	*In loc de*	*Se va citi*
44	1	I	I_1
59	7	$n \times E - r_i \times \frac{n\ E}{r + r_i\ n}$	$n \left[E - r_i \times \frac{n\ E}{r + r_i\ n}\right]$
61	28	$\frac{1{,}5}{\frac{1}{10} \times 0{,}1}$	$\frac{1{,}5}{\frac{1}{10} + 0{,}1}$

Scanned with OKEN Scanner

Pag.	Rândul	În loc de	Se va citi
101	7	$\frac{200}{20} = 5$	$\frac{200}{50} = 4$
103	26	electromagneți 1—2	electromagneți 2—3
105	22	ținem întrerupătorul 1	apăsăm pe întrerupătorul 1
109	12	acțiunea câmpului magnetic asupra unei spire	acțiunea câmpului magnetic asupra unei spire străbătută de un curent electric
145	3	dacă în acest punct introducem	dacă în acest câmp introducem
155	fig. 131 a	variația lui q în funcție de timp	variația lui i în funcție de timp
	fig. 131 b	Variația lui i în funcție de timp	Variația lui q în funcție de timp
179		figura 139 figura 140	figura 140 figura 139
212	16	rezistență electrică	rezistență electrică r
217	3	t s	t secunde
217	8	T s	T secunde
217	27	$E_m = 2\ B_m l N$	$2\ B_m l v N$
229	1	se face unghiul cu	se face unghiul α cu
231	33	vertical	oarecare
235	4	$\frac{U_m}{r}$	$-\frac{U_m}{R}$
235	18	energia electrică termică	energia electrică în energie termică
241	16	X_1	X_L
241	17	X_1	X_L
251	22	$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi_1 = 1$
251	24	$U_n \cos \varphi = U_n I_n$	$U_n I_n \cos \varphi_1 = U_n I_n$
252	14	$W = P\ t = U\ I \cos \varphi \cdot t$	$W = P_a\ t = U\ I \cos \varphi \cdot t$
252	21	$\frac{W}{\sqrt{W^2 + W_r^2}}$	$\frac{W}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}}$
252	28	$W = W_1 + W_2 + W_3 + \ldots = \Sigma W$	$W_a = W_{a1} + W_{a2} + W_{a3} + \ldots = \Sigma W_a$

Pag.	Rândul	In loc de	Se va citi
261	24	$W_m = \frac{C\ U_m^2}{2}$	$W_{cm} = \frac{C\ U_m^2}{2}$
262	4	W_m	W_{cm}
262	12	$P_r = U^2 \frac{1}{X} = U^2\omega C = = \frac{CU_m^2}{2}\omega = W_m;$	$P_r = U^2 \frac{1}{X_c} = U^2\omega C = = \frac{CU_m^2}{2}\omega$
262	19	$W_m = \frac{1}{2} CU_m^2$	$W_{cm} = \frac{1}{2} CU_m^2$
266	13	$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L + \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$	$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$
268	28	$W_m = \frac{LI_m^2}{2}$	$W_{Lm} = \frac{LI_m^2}{2}$
269	5	$I_m = U_m\omega_0 C = U_m 2\pi f_0 C;$	$I_m = U_{cm}\omega_0 C = U_{cm} f_0 C$
269	7	$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} = = \frac{LU_m^2 . 4\pi^2 f_0^2 C^2}{2}$	$\frac{CU_{cm}}{2} = \frac{LI_m^2}{2} = = \frac{LU_{cm}^2 . 4\pi^2 f_0^2 C^2}{2}$
269	13	$I_m = U_m\ 2\pi f_0 C = = U_m\ 2\pi \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = U_m \frac{1}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$	$I_m = U_{cm} 2\pi f_0 C = = U_{cm}\ 2\pi \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = U_{cm} \frac{1}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$
273	9	$I_L - I_C = 0$	$I_L - I_L = 0$
274	30	$I_1 = \frac{u}{X}$	$I_1 = \frac{u}{X_1}$
279	16	şi	în
281	22	$C = 450\ \mu F$	$C = 460\ \mu F$

Pag.	Rândul	In loc de	Se va citi
288	19	$\bar{E}_A$, $\bar{E}_B - \bar{E}_C$	$\bar{E}_A$, $\bar{E}_B$, $- \bar{E}_C$
291	12	$R_B = 12{,}5$	$R_B = 12{,}5$ ohmi
303	18	$P_r = 3Pf$	$P_r = 3P_rf$
303	23	$P = 3U \frac{I_e}{\sqrt{3}} \cos \varphi$	$3U_e \frac{I_e}{\sqrt{3}} \cos \varphi$

Scanned with OKEN Scanner